«АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ»

МАТЕРІАЛИ V МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЇ

Міністерство освіти і науки України
Міністерство оборони України
Вінницький національний технічний університет
Університет «Стефан чел Маре», (м. Сучава, Румунія)
Технічний університет «Georghe Asachi», (м. Яси, Румунія)

«АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ»

МАТЕРІАЛИ V МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЇ

11 – 12 листопада 2025 року

Збірник наукових праць

Електронне видання

Вінниця
ВНТУ
2025

УДК 623(062)
А43

Видається за рішенням Вченої ради Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Відповідальний за випуск: **П. Я. Бондаренко**

Рецензенти: **Анісімов В. Ф.**, доктор технічних наук, професор
Кашканов А. А., доктор технічних наук, професор

Актуальні проблеми бойового застосування, експлуатації і ремонту
А43 зразків озброєння та військової техніки (2025). Матеріали V Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції, 11 – 12 листопада 2025 року : збірник наукових праць [Електронний ресурс]. – Вінниця : ВНТУ, 2025. – (PDF, 494 с.)

ISBN 978-617-641-8163-74-7

Збірник містить Матеріали V Міжнародної науково- технічної інтернет-конференції «Актуальні проблеми бойового застосування, експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки» за основними напрямками відповідно до Інформаційного листа.

Роботи публікуються в авторській редакції. Редакційна колегія не несе відповідальності за достовірність інформації, яка наведена в роботах, та залишає за собою право не погоджуватися з думками авторів на розглянуті питання.

УДК 623(062)

ISBN 978-617-8163-74-7

© Вінницький національний технічний університет, укладання, оформлення, 2025

ЗМІСТ

Тупиця І. М.
СПОСІБ ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В ІНТЕРЕСАХ ПОВІТРЯНОЇ РОЗВІДКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАТФОРМ ТИПУ "NO-CODE" 1

Дацюк А. І., Колесникова І. М.
ВИКОРИСТАННЯ ПРОТОКОЛУ RS-485 ТА ОДНОРАЗОВОЇ ПРОВІДНОЇ ЛІНІЇ ДЛЯ КЕРУВАННЯ НАЗЕМНИМ ДРОНОМ-КАМІКАДЗЕ 2

О. М. Сорочкін, Ю. В. Шелест, Д. І. Кравченко, Д. О. Васильченко
РОЗВИТОК АВІАЦІЙНИХ РАКЕТ КЛАСУ «ПОВІТРЯ–ПОВІТРЯ» 5

Слободяник Є. І.
СЛІДИ ЗАСТО СУВАННЯ ВОГНЕ ПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ ТА МЕХАН ІЗМ ЇХ УТВОР ЕННЯ 8

Рубльов В. І., Отрешко Н. М., Рубльова Р. І.
ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА БОЙОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ МОБІЛЬНИХ ЗРК СЕРЕДНЬОЇ ДАЛЬНОСТІ 11

Синюк М. А., Медвідь А. В., Георгієв Ю. В.
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ АВІАЦІЙНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ 14

Маляренко О. С., Трофимов І. М.
СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД ПУНКТІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ТАКТИЧНОГО РІВНЯ 17

Древенчук Р. В., Зубарева А. О., Бойко В. В.
СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПОЛЬОТОМ БПЛА НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ 19

Березенський Р. В., Обертас В. Ф.
СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗБОРІЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ 22

Афанасьєв К. А., Василенко Р. В., Паращенко Т. В.
ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОРИСТАННЯ ТЕРМОЗБІЖНИХ ГІЛЬЗ ДЛЯ УСУНЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН 24

Козир А. В., Василіаді М. О., Георгієв Ю. В.
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ ДАТЧИКІВ ПЕРВИННОЇ ІНФОРМАЦІЇ КОМПЛЕКСУ ВИСОТНО-ШВИДКІСНИХ ПАРАМЕТІВ 28

Василенко Е. К., Осипова А. І., Василіаді М. О.
ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ HUMS (HEALTH AND USAGE MONITORING SYSTEM) ТА АДАПТИВНИХ СИСТЕМ ІНДИКАЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ 31

Василіаді М. О., Козир А. В., Георгієв Ю. В.
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ У СКЛАДІ БОРТОВОГО КОМПЛЕКСУ ВЕРТОЛЬОТУ МИ-8 МТ 35

Іваничко І. В., Колеснік В. М., Василенко Р. В.
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДАТЧИКІВ ТИСКУ ЩОДО ЇХ ВСТАНОВЛЕННЯ У МАГІСТРАЛІ СТАТИЧНОГО ТА ПОВНОГО ТИСКІВ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ЛІТАКА 38

Каленчук І. О., Василенко Р. В.
РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ІНЕРЦІАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ МОДУЛІВ ДО СКЛАДУ ІНФОРМАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ВЕРТИКАЛІ І КУРСУ ИК-ВК80 41

Бердніков Є. Р., Василенко Р. В.
АНАЛІЗ ВИМОГ ДО ІНДИКАТОРІВ ПОЛЬОТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ТА ПРИНЦИПІВ ЇХ ПОБУДОВИ 44

Тах'ян К. А., Климченко В. Й., Тютюнник В. О., Арасланов М. Р.
СУПРОВОДЖЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ В НЕПОВНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ 46

Медвідь А. В., Синюк М. А., Георгієв Ю. В.
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ 50

Поляшов С. В., Литвиновський С. А.
СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ТЕХНІКИ ТИЛУ ТА ШЛЯХИ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ 53

Осипова А. І., Василенко Р. В., Паращенко Т. В.
РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ВЕРТИКАЛІ ТА КУРСУ МАНЕВРЕНОГО ПОВІТРЯНОГО СУДНА ДО СКЛАДУ ВІТЧИЗНЯНОГО БАГАТОЦІЛЬОВОГО ЛІТАКА55

Ярош С. П., Гриценко П. М ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОЦІЛЬОВИХ ЛІТАКІВ У СУЧАСНИХ ВОЄННИХ КОНФЛІКТАХ 57

Дігтярь М. М., Хмель Є. О.
КУРС-93М ЯК ПРІОРИТЕТНИЙ АНАЛОГ МОДЕРНІЗАЦІЇ НАВІГАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН 61

Lavreniuk A. O., Vishchun I. V.
FEATURES OF THE COMBAT USE OF LASERS TO COMBAT DRONES 63

Ярмоленко М. В., Векленко Ю. А.
ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ЗНОШУВАННЯ 120 ММ МІНОМЕТНОГО СТВОЛА ПІД ЧАС ТРИВАЛИХ ПОЛІГОННИХ ВИПРОБУВАНЬ ЗА ПЛАНОМ NRT 71

Литвиновський С. А., Поляшов С. В.
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ТЕХНІКИ ТИЛУ (ПО СЛУЖБАХ ТИЛУ) ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНИХ БОЙОВИХ ДІЙ 73

Ісмаілова Н. П., Мікрюков І. С., Бикова Л. Г.
ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КОНСТРУЮВАННЯ СПРЯЖЕНИХ КІНЕМАТИЧНИХ ПАР ЗУБЧАТОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ У ВІЙСЬКОВІЙ ТЕХНІЦІ ДЛЯ УСУНЕННЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ 76

Малеєва А. М., Власюк Д. В., Георгієв Ю. В.
РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ В АВАРІЙНУ СИСТЕМУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ЛІТАКА «РОЗУМНИХ» АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ 80

Баранік О. М., Павліченко А. А.
ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО АВІАЦІЙНИХ ПІДРИВАЧІВ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ З БПЛА 1 КЛАСУ 83

Клімішен О. О., Краснорyцький А. О.
АНАЛІЗ ЗАВДАНЬ ТА НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ ЗІ СКЛАДУ БОРТОВИХ КОМПЛЕКСІВ СУЧАСНИХ ВЕРТОЛЬОТІВ 86

Гурін А. П., Гурін О. О., Лісогорський Б. А., Сніцаренко О. М., Пономарь А. В.
УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ КОНТРАСТУ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИНЦИПІВ СПЕКТРАЛЬНОЇ УЗГОДЖЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ОБРОБКИ 88

Поляков А. П., Мороз Л. В., Стороженко Я.В.
ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРЕБИ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ ДЛЯ СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ 93

Поляков А. П., Варчук В. В.
УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТРЕБИ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ ДО ДВИГУНІВ СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 97

Мороз Л. В., Варчук В. В.
ОЦІНКА ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ ПОЯВОЮ ВІДМОВ СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯТА ВИЗНАЧЕННЯМ ПЕРЕЛІКУ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН ДЛЯ ЇХ УСУНЕННЯ 100

Мороз Л. В., Варчук В. В.
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ПОТРЕБУ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ З ЇХ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ 105

Поляков А. П., Варчук В. В.
РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТРЕБИ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ ДО ДВИГУНІВ СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 110

Поляков А. П., Мороз Л. В., Стороженко Я. В.
ОБҐРУНТУВАННЯ ЗМІНИ ПОТРЕБИ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ ДЛЯ СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНО ВІД ЗОВНІШНІХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ 117

Чабан М. А., Колесникова І. М., Домненко М. Г.
УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ ВІЗУАЛЬНОЇ РОЗВІДКИ 123

Чабан М. А., Колесникова І. Н., Домненко М. Г.
ЛАНЦЮГОВИЙ ЗАХИСТ ІНЖЕРЕНРНИХ СПОРУД ДЛЯ ЗАХИСТУ ОСОБОВОГО СКЛАДУ ВІД БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ 126

Оболонська Я. О., Віщун І. В.
РОЛЬ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ В УМОВАХ СУЧАСНОГО ВІЙСЬКОВОГО КОНФЛІКТУ 128

Оболонська Я. О., Віщун І. В.
БПЛА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ 131

Кобенда Д. С., Бондаренко П. Я., Якобінчук О.В.
БПЛА З ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИМИ ЛІНІЯМИ ЗВ'ЯЗКУ ЯК ІНСТРУМЕНТ РОЗВІДКИ ТА УРАЖЕННЯ В СУЧАСНОМУ ЗБРОЙНОМУ КОНФЛІКТІ 133

Кобенда Д. С., Бондаренко П. Я.
ЕВОЛЮЦІЯ ТАКТИКИ ЗАСТОСУВАННЯ КОМЕРЦІЙНИХ ТА ВІЙСЬКОВИХ БПЛА В РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКІЙ ВІЙНІ: ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ТА СТРАТЕГІЧНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ 135

Карлов К. С., Георгієв Ю. В., Краснорyцький А. О.
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ АВІАЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОСИСТЕМ 137

Кобенда Д. С., Бондаренко П. Я.
ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УПРАВЛІННІ БЕЗПІЛОТНИМИ СИСТЕМАМИ РОЗВІДКИ ТА УРАЖЕННЯ В УМОВАХ СУЧАСНОГО ЗБРОЙНОГО КОНФЛІКТУ 140

Бажинов О. В., Кікла Є. М.
КОНЦЕПЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЯГОВИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ 142

Стаднік А. Г., Юхно В. А.
СПОСОБИ УПРАВЛІННЯ НОВОСТВОРЕНИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ І ЧАСТИНАМИ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ (БАК) 145

Стаднік А. Г., Сула В. Є.
ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ БЕЗПІЛОТНИМ АВІАЦІЙНИМ КОМПЛЕКСОМ 147

Anatolii Shyian, Liliia Nikiforova
TECHNOLOGIES FOR USING DRONE SWARMS ON THE BATTLEFIELD IN CONDITIONS OF ACTIVE ENEMY COUNTERMEASURES 149

Камалтинов Г. Г., Тютюнник В. О., Тах'ян К. А.
АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ СТВОРЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ 153

Котов Д. О., Марченко В. П., Шишкін Г. Б., Ярошевський О. М.
ПИТАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ НОРМ ВИТРАТИ ПАЛЬНОГО ПРИ ВИКОРИСТАННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІК 156

Дігтярь М. М., Жук В. В., Тамбовцев А. П., Коршенко О. О.
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУМІСНОСТІ БОРТОВИХ АВІАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ З ПРОТОКОЛАМИ ТА СТАНДАРТАМИ НАТО 159

Красноруцький А. О., Вишнівський Я. О., Матвєєва В. С.
ІНТЕГРАЦІЯ ЕЛЕКТРОНАГРІВАЧІВ РЕЗИСТИВНОГО ТИПУ ДО СКЛАДУ БПЛА BAYRAKTAR TB2 В ЯКОСТІ ПРОТИЗЛЕДЕНІЛЬНОЇ СИСТЕМИ 162

Доценко О. М., Крук Р. Р.
ВДОСКОНАЛЕННЯ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ ЛІТАКА-ВИНИЩУВАЧА СУ-27 165

Петренко А. В., Іващенко А. Є., Зєнович О. Є.
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ БПЛА 169

Васюта К. С., Сніцаренко В. В.
ВИПРАВЛЕННЯ ПОМИЛОК ПРИ ПЕРЕДАЧІ ЦИФРОВИХ ПОВІДОМЛЕНЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНИХ МЕТОДІВ 173

Колесник А. В., Записов Д. В.
МОНІТОРИНГ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ФУНДАМЕНТІВ ТА НЕСУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ УКРИТТІВ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ 177

Колесник А. В.
СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ БЕТОННИХ УКРИТТІВ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ 180

Колесник А. В., Домненко М. Г.
КУРС ТЕОРЕТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ З ДОМЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ ЯК ОДНІЄЇ З КЛЮЧОВИХ ДИСЦИПЛІН БЗВП 183

Колесник А. В., Дубенчак О. О.
ДЕФЕКТИ ТА РУЙНУВАННЯ БЕТОННИХ УКРИТТІВ: ПРИЧИНИ ТА МЕТОДИ ЗАПОБІГАННЯ 186

Колесник А. В.
МОДЕЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ НА БЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД 189

Колеснікова І. М., Колесник А. В.
ОСОБЛИВОСТІ НАЦІОНАЛЬНО-ПАТРІОТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ В РАМКАХ БАЗОВОЇ ЗАГАЛЬНОВІЙСЬКОВОЇ ПІДГОТОВКИ (БЗВП) 192

Колесник А. В., Любич В. В.
ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БЕТОННИХ ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД: МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ТА МОНІТОРИНГУ 195

Колесник А. В., Вдовін М. А.
ЦИВІЛЬНІ ЗАХИСНІ СПОРУДИ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ: ПРОЄКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ 198

Колесник А. В., Заєць О. С.
ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ У ЗМІЦНЕННІ ФУНДАМЕНТІВ І БЕТОННИХ СТІН ЗАХИСНИХ СПОРУД 201

Василенко Е. К., Древенчук Р. В.
ВДОСКОНАЛЕННЯ СВІТЛОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІТАКА-ВИНИЩУВАЧА МІГ-29 ДЛЯ АДАПТАЦІЇ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ В НІЧНИХ УМОВАХ 204

Крук Р. Р., Доценко О. М., Хлоп'ячий В. А.
АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ РОЗВІДУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ЛІТАКА ТАКТИЧНОЇ АВІАЦІЇ 207

Красноруцький А. О., Бовкун А. Р.
АНАЛІЗ ЗАВДАНЬ ТА НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ АВТОНОМНОСТІ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ 210

Меланчук О. Д., Горбенко В. С., Лиходєєв О. С.
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ АВІАЦІЙНИХ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ 212

Сосулін М. В., Погребний О. Ю., Омельченко В. Ю., Педорич А. С.
ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ РОЗВИТКУ ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМ БОЙОВОГО ВЕРТОЛЬОТУ 214

Баюн О. С., Керест Д. О.
АНАЛІЗ АВІАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ З БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПЕРШОГО КЛАСУ 216

Семенюк А. М., Поліщук Д. М.
ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ УРАЖЕННЯ АВІАЦІЙНИХ ДРОНІВ КАМІКАДЗЕ З НОСІЯ ПОВІТРЯНОГО БАЗУВАННЯ 219

Воронін А. В., Йонка О. І., Савєльєв Я. В., Гармаш С. О.
ДОСЛІДЖЕННЯ БОЙОВИХ ЧАСТИН АВІАЦІЙНОГО КЕРОВАНОГО ЗАСОБУ УРАЖЕННЯ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ЗНИЩЕННЯ МАЛО-ШВИДКІСНОЇ ПОВІТРЯНОЇ ЦІЛІ НА МАЛИХ ТА СЕРЕДНІХ ВИСОТАХ 221

Баюн О. С., Керест Д. О.
АНАЛІЗ АВІАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ З БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПЕРШОГО КЛАСУ 224

Попов В. О., Крупський Д. П., Майданіченко Д. О., Васьків А. Т.
ОБҐРУНТУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТА МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ПЕРСПЕКТИВНОЇ КОНТРОЛЬНО-ПЕРЕВІРОЧНОЇ АПАРАТУРИ ПРИ ПЕРЕВІРКАХ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ БЛОКІВ М261 227

Барчук С. М., Кедровський Ю. О., Забавчук А. О., Сітало І. Р.
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МЕТЕРІАЛУ ВЕДУЧОГО ПОЯСКА НА ЖИВУЧІСТЬ СТВОЛА АВІАЦІЙНОЇ АРТИЛЕРІЙСЬКОЇ ЗБРОЇ 230

Сорочкіна О. О., Даценко А. В., Юрковська О. Ю., Грицай П. В.
ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ КЕРОВАНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ БОЙОВИХ ЛІТАКІВ ДЛЯ УРАЖЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ НА СЕРЕДНІЙ ВІДСТАНІ 233

Головко Б. Б., Кузнецов Є. О., Щукін Д. В., Бугаренко Є. О.
ОБҐРУНТУВАННЯ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДО РУХОМИХ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ УСТАНОВОК ВЕРТОЛЬОТІВ ПРИ УРАЖЕННІ БПЛА ТИПУ ГЕРАНЬ-2 236

Родюков А. О., Юхно В. А., Сула В. Є.
УНІФІКАЦІЯ ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПУСКУ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ 239

Олексієва Л. А, Іленко Є. Ю.
МЕТОД ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКУ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ РЕДУКТОРІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ 242

Лагутін Г. І., Куравська Н. М., Куравський М. В., Гончаров В. О.
ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ 246

Борисенко О. В., Залевський Г. С.
ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РЛС МЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ХВИЛЬ 249

Джус Р. М., Рєзніков С. В.
ЗАПОБІГАННЯ ВІДМОВ ГІДРОСИСТЕМ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН, ЯКІ ВИНИКАЮТЬ ПРИ ОБВОДНЕННІ ГІДРОРІДИНИ 252

Оболонська Я. О.
ОРГАНІЗАЦІЯ ОСНОВ КІБЕРБЕЗПЕКИ У ВІЙСЬКОВИХ ПІДРОЗДІЛАХ 254

Оболонська Я. О.
СТЕГАНОГРАФІЯ ЯК МЕТОД ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ 256

Онищенко В. М., Драгунов А. М., Щетина П. В.
ВИКОРИСТАННЯ НАДЛЕГКИХ ЛІТАКІВ ДЛЯ БОРОТЬБИ З БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ 258

Пащенко В. В., Біленко О. І.
МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО ЗАГАЛЬНОЇ МАСИ КОМПЛЕКСУ БОЙОВОГО ЕКІПІРУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ОПЕРАТИВНОСТІ ПЕРЕСУВАННЯ ПРАЦІВНИКА СИЛ БЕЗПЕКИ 261

Колеснік О. М., Ахрименко К. В., Мосієнко В. О.
МЕТОДИКА ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТОРІВ ВВОДУ ІНФОРМАЦІЇ - ПЛАНШЕТИСТІВ РАДІОТЕХНІЧНИХ ПІДРОЗДІЛІВ ТА ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ЇХ РОБОТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ІКС “ВІРАЖ-ПЛАНШЕТ” 265

Березанський В. Г., Керест Д. О., Степаненко Д. О., Млавець В. М.
ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АДАПТОВАНОГО ПІДРИВУ ПО ДАЛЬНОСТІ ДЛЯ СУЧАСНИХ АВІАЦІЙНИХ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ ПАТРОНІВ 267

В. Ж. Ященок, В. М. Онищенко, В. В. Долинюк
ЗАСТОСУВАННЯ БОЙОВИХ ГЕЛІКОПТЕРІВ ПРИ БОРОТЬБІ З БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ 270

Власюк Д. В., Малеєва А. М., Зєнович О. Є.
РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ БЛОКУ РЕГУЛЮВАННЯ І ЗАХИСТУ ТИПУ БРЗ-1 ЛІТАКА МІГ-29 273

Підлісний А. О., Георгієв Ю. В.
СКЛАД, ПРИЗНАЧЕННЯ, ПРИНЦИП РОБОТИ, КОНТРОЛЬ ТА ПЕРЕВІРКА ЗАРЯДНИХ АКУМУЛЯТОРНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ АВІАЦІЙНИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ, АНАЛІЗ ТИПОВИХ НЕСПРАВНОСТЕЙ, ШЛЯХИ ЇХ ПОШУКУ ТА УСУНЕННЯ 276

Швець П. М., Хлоп’ячий В. А.
ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗАПУСКУ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА 279

Збризький В. В., Лиходєєв О. С.
ІНТЕГРАЦІЯ ДАНИХ ВІД БАРОМЕТРИЧНОГО ТА СУПУТНИКОВОГО ВИСОТОМІРІВ У СИСТЕМІ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО СУДНА 281

Кандирін М. П., Дзігора О. М.
ФАЗОВІ ШУМИ КОМБІНОВАНИХ ЦИФРО-АНАЛОГОВИХ СИНТЕЗАТОРІВ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ 283

Красноруцький А. О., Вишнівський Я. О., Васєкін Д. В.
ПЕРСПЕКТИВНА ПЛАТФОРМА УДАРНОГО БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ ПЕРШОГО КЛАСУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БОЙОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДРОЗДІЛІ 285

Хижняк А. С., Вергасов А. О., Маховський А. О., Березицький Д. О., Закладний В. О.
АНАЛІЗ РОЗВИТКУ АВІАЦІЙНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ КЛАСУ "ПОВІТРЯ-ПОВІТРЯ" МАЛОЇ ДАЛЬНОСТІ ДІЇ 288

Долінський М. П., Скрипач С. І.
ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ШАСІ З МУЛЬТИЛІФТОВОЮ УСТАНОВКОЮ ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ МОДУЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ЗАСОБІВ АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 291

Любич В. В.
СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ У ФОРТИФІКАЦІЙНОМУ БУДІВНИЦТВІ В УМОВАХ ГІБРИДНИХ ВОЄН 293

Любич В. В.
ІННОВАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СПОРУД УКРИТТЯ ТА ІНЖЕНЕРНОГО ЗАХИСТУ ВІЙСЬК 296

Любич В. В.
НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У СФЕРІ ВІЙСЬКОВОГО ТА ЦИВІЛЬНОГО ФОРТИФІКАЦІЙНОГО БУДІВНИЦТВА 298

Красноруцький А. О., Іващенко А. Є., Петренко А. В.
ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ДЖЕРЕЛ ЗМІННОГО СТРУМУ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ЗАВДЯКИ ЗАСТОСУВАННЮ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ 300

Стечишин М. С., Люховець В. В., Стечишина Н. М., Здоренко Д. В.
ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АЗОТУВАННЯ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ НА МІЦНІСТЬ СТВОЛІВ МІНОМЕТІВ 303

Дігтярь М. М., Пєшков В. О.
УДОСКОНАЛЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РАДІОВИСОТОМІРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОЛЬОТУ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ БОЙОВИХ ЗАВДАНЬ 307

Король В. В., Зєнович О. Є.
РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ АВІАЦІЙНИХ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТИПУ ПТС-800 309

Любич В. В.
СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЄКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАХИСНИХ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ В УМОВАХ ВОЄННИХ ЗАГРОЗ 311

Федоришин Є. Я., Борсук Є. О., Георгієв Ю. В.
РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВНУТРІШНЬОГО СВІТЛОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІТКА МІГ-29 313

Борсук Є. О., Федоришин Є. Я., Георгієв Ю. В.
РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО СТРУКТУРИ КОНТРОЛЬНО-ПЕРЕВІРОЧНОЇ АПАРАТУРИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІГ-29 315

Коломійцев О. В., Кудряшов В .Є., Панченко В. І., Татьянко Д. М.
РОЗНЕСЕНА ДВОПОЗИЦІЙНА СИСТЕМА РАДІОМЕТРИЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ 318

Любич В. В.
ІННОВАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТА КОНСТРУКЦІЇ У БУДІВНИЦТВІ СПОРУД ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 321

Любич В. В.
ЦИФРОВІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ: ЗАСТОСУВАННЯ BIM-ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЄКТУВАННІ ЗАХИСНИХ СПОРУД 323

Любич В. В.
НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ У СФЕРІ БУДІВНИЦТВА ЗАХИСНИХ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ 325

Любич В. В.
ФОРТИФІКАЦІЙНІ ЕЛЕМЕНТИ У СИСТЕМІ ІНЖЕНЕРНОГО ЗАХИСТУ МІСТ І ГРОМАД 327

Любич В. В.
МОДЕРНІЗАЦІЯ МЕРЕЖІ СХОВИЩ І УКРИТТІВ РАДЯНСЬКОГО ПЕРІОДУ: ТЕХНІЧНА ОЦІНКА, ВІДНОВЛЕННЯ ТА АДАПТАЦІЯ 329

Любич В. В.
ПСИХОЛОГІЧНІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ УКРИТТІВ НАСЕЛЕННЯМ: ДОСВІД ВІЙНИ 331

Larshin V. P, Zlepko I. Y
UNMANNED GROUND VEHICLE ARCHITECTURE AND OPERATIONAL PRINCIPLES 333

Злепко І. Ю., Ларшин В. П.
ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ ВІЙСЬКОВОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ 336

Рибіцький І. В., Войтенко С. С., Карпаш О. М., Запека О. В.
ОГЛЯД МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ МЕТАЛІЧНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ СКЛАДНОЇ ФОРМИ 339

Азаров О. Д., Томчук М. А., Довгань Д. С.
ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ІЗ ОБМЕЖЕНИМИ АПАРАТНИМИ ПЛАТФОРМАМИ 342

Ревко Г. В., Полонський А. В.
РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ВІБРАЦІЇ ИВ-41 ТРАНСПОРТНОГО ЛІТАКА 345

Антоненко Г. М., Драгунов А. М., Щетина П. В.
ПЕРСПЕКТИВИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ НАДЛЕГКИХ БАГАТОЦІЛЬОВИХ ЛІТАКІВ У СИСТЕМАХ ПРОТИДІЇ БПЛА 347

Dyka M. S.
AUTOMATED DETECTION OF CYBER THREATS TO IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF COMBAT CONTROL 351

Спіркін Є. В., Мостовий А. В., Мироненко К. К.
МОДЕРНІЗАЦІЯ АЕРОДИНАМІЧНОЇ ТРУБИ ТН-1 353

Васюта К. С., Казьміров І. В.
МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД ГЕНЕРАЦІЇ ГІПЕРХАОТИЧНИХ КОЛИВАНЬ ДЛЯ СКРИТНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ 355

Лупашко Р. Р., Краснорyцький А. О.
ОБҐРУНТУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ПОРЯДКУ ЗБОРУ ТА АНАЛІЗУ ІНФОРМАЦІЇ ПРО НЕСПРАВНОСТІ АВІАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІТАКА Л-39 359

Баранік О. М., Юрченко В. О.
АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ПАСИВНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАВАД ТА ЇХ ВПЛИВ НА ВИЗНАЧЕННЯ ЦІЛІ 361

Гапонов О. В., Кємєнов А. О., Сочка А. І., Олійник О. М.
ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ НА ВІЙСЬКОВО-ТРАНСПОРТНИЙ ЛІТАК ТИПУ АН-26 364

Панкул О. М., Кравченко І. В., Алтухов М. В.
РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ БЕЗВІДМОВНОСТІ РОБОТИ ГОЛОВНОГО РЕДУКТОРА ВЕРТОЛЬОТА МІ-8МСБ 367

Риб'як А. С., Ященок В. Ж., Корепанов В. В.
ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ІНФРАЧЕРВОНИХ СИСТЕМ ПОШУКУ, СУПРОВОДУ ТА ЦІЛЕВКАЗАННЯ: ПЕРЕВАГИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ 369

Плешкунов С. А., Явор І. С.
РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ВЕРТОЛЬОТУ Ми-8 372

Сочка А. І., Гапонов О. В., Кємєнов А. О., Олійник О. М.
ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКУ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ 375

Бойков І. В., Богатов О. І.
ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРАДИЦІЙНИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ 377

Бусилко О. А., Вахнюк С. А., Маковецький В. В.
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ЗМІННОГО СТРУМУ АПА-5Д ЗА РАХУНОК ВСТАНОВЛЕННЯ НОВІТНІХ ПРИЛАДІВ БЕЗПЕРЕРВНОГО КОНТРОЛЮ ПРИ ВИКОНАННІ ЗАВДАННЯ 382

Бусилко О. А., Вахнюк С. А., Борець М. А.
ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ТА РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ЙОГО ВПРОВАДЖЕННЯ 384

Трач І. П.
СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ БОЙОВИХ ЗАВДАНЬ В ХОДІ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ 386

Мазур М. М., Кашканов А. А.
ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА МАСОВОГО ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В УКРАЇНІ 390

Здерко Є. Д., Древечук Р. В., Ревко Г. В.
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ АПАРАТУРИ ВИМІРЮВАННЯ ОБЕРТІВ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА ТРАНСПОРТНОГО ЛІТАКА 393

Аніпко О. Б., Тюріна В. Ю., Панкул О. М.
ЩОДО ОДНОГО ПІДХОДУ ДО ІНТЕГРАЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МЕТОДОЛОГІЮ АНАЛІЗУ ДЕРЕВА ВІДМОВ 395

Ковтонюк І. Б., Козлов К. С.
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИНИЩУВАЧА СУ- 27 З ДИФЕРЕНЦІЙНО ВІДХИЛЯЄМИМИ НОСКАМИ КРИЛА З УРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ БОЙОВИХ ДІЙ 397

Головань А. В., Головань В. Г., Гордішевський Л. Г.
ПРОБЛЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬК У БОЙОВИХ УМОВАХ 399

Грабовецький А. С., Кіщук Н. Ю., Василенко Р. В.
ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИМІРЮВАЧА ВИТРАТИ ТА ЗАЛИШКУ ПАЛИВА ЛІТАКА-ВИНИЩУВАЧА МІГ-29 402

Дерев'янко А. О.
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ТИПУ АН-26 ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНОЇ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ БОЙОВИХ ДІЙ 404

Яценко К. Г., Луценко Е. О.
ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА «РОЗУМНИХ ОКУЛЯРІВ» ДЛЯ РЕМОНТУ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ У БОЙОВИХ УМОВАХ 408

Георгієв Ю. В., Сікорський А. В., Купрієнко Т. М.
УДОСКОНАЛЕННЯ БЛОКУ КОМАНДНИХ СИГНАЛІВ ПАЛИВОМІРНО-ВИТРАТОМІРНОЇ СИСТЕМИ СТР-7-2 ЛІТАКА Су-27 ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ КОНТРОЛЮ ПАЛИВНИХ ЗАПАСІВ 411

Панкул О. М., Алтухов М. В., Кравченко І. В.
РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ БЕЗВІДМОВНОСТІ РОБОТИ ШАСІ ПОВІТРЯНОГО СУДНА 414

Щерба А. А., Мартиненко С. А., Красник Я. В.
ОСОБЛИВОСТІ НАВІГАЦІЇ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ TERPROM 416

Зеленянський С. О.
РОЗРОБКА ГАЗОТУРБІННОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ БПЛА З ЖИВЛЕННЯМ ВІД ГАЗОВИХ КАРТРИДЖІВ 419

Джус В. В.
РОЗДІЛЬНА ЗДАТНОСТІ МЕТОДІВ ПРОСТОРОВОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ПЕЛЕНГАЦІЇ ПОСТАНОВНИКІВ ПЕРЕШКОД В УМОВАХ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ 421

Геращенко М. Р., Овчаренко О. Ю.
ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ШЛЯХІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРЕШКОДОСТІЙКОСТІ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ ВІД АКТИВНИХ ПЕРЕШКОД 423

Двірник М. С., Титаренко Р. В.
ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ШЛЯХІВ ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ НАВЕДЕННЯ ЗЕНІТНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ 425

Єрмоц М. С., Овчаренко О. Ю.
ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИЯВЛЕННЯ ТА СУПРОВОДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ З МАЛОЮ ЕФЕКТИВНОЮ ПОВЕРХНЕЮ РОЗСІЮВАННЯ БАГАТОКАНАЛЬНОЮ СТАНЦІЄЮ НАВЕДЕННЯ РАКЕТ 9С32 427

Забийворота А. О., Крючков Д. М.
ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ШЛЯХІВ ПРОТИДІЇ МАНЕВРУ ПОВІТРЯНОЇ ЦІЛІ ПРИ НАВЕДЕННІ ЗЕНІТНОЇ КЕРОВАНОЇ РАКЕТИ 430

Калач В. О., Луценко А. С.
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ НАВЕДЕННЯ РАКЕТ 9С32 433

Камчатний М. І., Коробков Ю. В., Шимко А. С.
ЗАХИСТ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО РАДІОЛОКАТОРА ВІД ПРОТИРАДІОЛОКАЦІЙНИХ РАКЕТ ЗА РАХУНОК ВВЕДЕННЯ РЕЖИМУ АДАПТИВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЗОНДУВАЛЬНОГО СИГНАЛУ ЗАЛЕЖНО ВІД ДАЛЬНОСТІ ДО ЦІЛІ, ЩО СУПРОВОДЖУЄТЬСЯ 435

Монахов Є. О., Луценко А. С.
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АНТЕНОЮ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ НАВЕДЕННЯ РАКЕТ 9С32 ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БОЙОВИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗЕНІТНОЇ РАКЕТНОЇ БАТАРЕЇ 438

Панков Д. О., Рощупкін Є. С.
ОБҐРУНТУВАННЯ ПЕРЕЛІКУ АПАРАТУРИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ НАВЕДЕННЯ РАКЕТ 9С32 440

Резніченко О. А.
ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БОЙОВИХ ДІЙ ТАКТИКО-ВОГНЕВОГО ПІДРОЗДІЛУ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК У ХОДІ ВОЄННОГО КОНФЛІКТУ ВИСОКОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ 442

Романов А. П., Титаренко Р. В.
ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ КАНАЛІВ ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЄЮ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ ЇХ СПРЯЖЕННЯ З ЗЕНІТНИМ РАКЕТНИМ КОМПЛЕКСОМ С-300В1 444

Цикалов М. В., Титаренко Р. В.
ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ЗАХОДІВ ТА ЗАСОБІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЄЮ В СКЛАДНІЙ ПЕРЕШКОДОВІЙ ОБСТАНОВЦІ В УМОВАХ ВОГНЕВОГО ВПЛИВУ З БОКУ ПРОТИВНИКА 447

Швець В. В., Колесник А. В.
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ І АВТОНОМНІСТЬ СИСТЕМ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ЗАХИСНИХ СПОРУДАХ 449

Ковальчук І. В., Мороз Л. В., Мамківський І. В.
ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ АВТОМОБІЛЬНОЇ РОТИ БАЗИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 452

Замкова І. В.
ОСНОВНІ ЗАСАДИ ОРГАНІЗАЦІЇ РЕМОНТУ ВІЙСЬКОВОГО ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ 455

Здір О. А.
ОРГАНІЗАЦІЯ СПИСАННЯ ЗНИЩЕНОГО ВІЙСЬКОВОГО МАЙНА ВНАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ 457

Клименко В. В.
ОРГАНІЗАЦІЙНА СТРУКТУРА І ЗАДАЧІ РЕЧОВОЇ СЛУЖБИ ВІЙСЬКОВОЇ ЧАСТИНИ 460

Конанчук М. О.
МАТЕРІАЛЬНА ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ЗА ЗБИТКИ, НАНЕСЕНІ ДЕРЖАВІ 463

Скуділо І. О.
МЕХАНІЗАЦІЯ ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ РОБІТ В ЗБРОЙНИХ СИЛАХ УКРАЇНИ 467

Ткачук І. В.
ДІЇ ПІДРОЗДІЛІВ ЗС УКРАЇНИ ПІД ЧАС ОРГАНІЗАЦІЇ ЛАЗНЕ-ПРАЛЬНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ 469

Пугачова Д. С.
ЛОГІСТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УРБАНІЗОВАНИХ ПОЗИЦІЙ 471

Рубльов В.І., Демченко Я.В., Отрешко Н.М.
АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ РОЗВІДУВАЛЬНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ СТРАТЕГІЧНОГО ТИПУ В СУЧАСНИХ КОНФЛІКТАХ 473

Головач Л. В.
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ВІЙНИ 476

Мошаренков В. В., Т. В. Мошаренкова, Коваленко І. О.
РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБРИСУ ПРИЦІЛЬНОЇ СИСТЕМИ НАЗЕМНОГО РОБОТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ 478

Лиходєєв О. С., Середюк О. М., Сметанкін Р. Р.
ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЙ ГІРОСКОПІВ НА РІВЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ВИНИЩУВАЧЕМ 481

УДК 621.327:681.5

Тупиця І. М.

СПОСІБ ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В ІНТЕРЕСАХ ПОВІТРЯНОЇ РОЗВІДКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАТФОРМ ТИПУ "NO-CODE"

Анотація. *Аналізуються вимоги до процесу обробки даних повітряної розвідки, що формуються бортовими цифровими оптико-електронними системами безпілотних авіаційних систем. Досліджуються можливі способи автоматизації окремих етапів обробки розвідувальної інформації (цифрових зображень, відеокадрів). Пропонується використання функціональних можливостей платформ типу "No-Code" для формування моделей комп'ютерного зору в інтересах системи повітряної розвідки. Це дозволяє створити умови для зниження вимог до теоретичних знань та практичних навичок персоналу (екіпажу безпілотного авіаційного комплексу) з алгоритмічних мов програмування. Використання запропонованого способу формування моделей комп'ютерного зору дозволить створити умови для підвищення оперативності обробки даних повітряної розвідки.*

Ключові слова: *повітряна розвідка; комп'ютерний зір; цифрове зображення; безпілотний літальний апарат.*

Abstract. *The requirements for processing aerial reconnaissance data, which are formed by onboard digital optoelectronic systems of unmanned aircraft systems, are analyzed. The possibilities of methods for automating individual stages of processing reconnaissance information (digital images, video frames) are investigated. The use of functional "No-Code" platforms is proposed for creating computer image models in support of the aerial reconnaissance system. This enables the creation of conditions for reducing the requirements for theoretical knowledge and practical skills of personnel (the crew of an unmanned aircraft complex) in algorithmic programming languages. The proposed method for forming computer vision models will enable the creation of conditions for enhancing the efficiency of aerial reconnaissance data processing.*

Keywords: *aerial reconnaissance; computer vision; digital image; unmanned aerial vehicle.*

Досвід бойових дій свідчить про суттєву трансформацію цільового спорядження (розвідувального обладнання) безпілотних літальних апаратів противника. При цьому слід зазначити, що даний процес супроводжується активною інтеграцією в розвідувальні комплекси сучасних інноваційних технологій. Це дозволяє створити умови для підвищення автономності під час ведення повітряної розвідки та виконання ударних місій. Це призвело до суттєвої активізації в зазначеному напрямку як вітчизняної наукової спільноти, так і державного виробника оборонної продукції. Так аналіз останніх наукових досліджень свідчить про активну інтеграцію в процес обробки відеоданих (цифрових зображень, відеокадрів) сучасних інноваційних технологій. Це дозволяє автоматизувати окремі етапи обробки постійно зростаючих об'ємів відеоданих, що формуються бортовими цифровими оптико-електронними системами повітряної розвідки [1, 2]. При цьому слід зазначити, що основним проблемним аспектом застосування останніх є зростання вимог до теоретичних знань та практичних навичок персоналу (екіпажу безпілотного авіаційного комплексу) з алгоритмічних мов програмування для самостійного створення моделей комп'ютерного зору в інтересах повітряної розвідки [3, 4]. З метою вирішення вищезазначеного проблемного аспекту пропонується використання функціональних можливостей платформ типу "No-Code", особливою популярністю серед яких на сьогоднішній день користується відкрита веб-платформа Ultralytics HUB [5]. До основних переваг використання зазначеної платформи відносяться наступні [5, 6]:

1. Зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.
2. Дозволяє реалізувати процес підготовки даних до тренування (перевірки анотування набору даних).
3. Можливість вибору архітектури алгоритмів комп'ютерного зору в залежності від завдань повітряної розвідки (балансування між показниками оперативності обробки даних (fps) та достовірністю моделі).

4. Використання ресурсів хмарних сервісів (графічних процесорів платформи Google Colab) для розгортання та формування моделей комп'ютерного зору. Це дозволяє достатньо оперативно виконати процес навчання моделі (виграш у порівнянні з локальними ресурсами складає десятки разів).

5. Формування кількісних та якісних показників ефективності моделі з можливістю їх контролю як на протязі всього циклу тренування (в звичайному режимі до 100 епох), так і після завершення етапу тренування. З цією метою передбачені інструменти візуалізації результатів тренування моделі.

6. Широкий вибір форматів для імпорту моделі комп'ютерного зору з метою подальшої інтеграції до складу програмно-апаратних комплексів (PyTorch, ONNX, TensorRT, OpenVINO т.і.).

7. Можливість використання безкоштовного тарифного плану (до 20 ГБ).

Використання запропонованого способу формування моделі комп'ютерного зору в інтересах повітряної розвідки в умовах застосування безпілотних авіаційних систем дозволить створити умови для скорочення часу на обробку даних повітряної розвідки в умовах зниження вимог до професійних здібностей персоналу (екіпажу безпілотного авіаційного комплексу) з алгоритмічних мов програмування.

Список використаних джерел:

1. Тупиця І. М., Кривонос В. М., Кібіткін С. О., Іващук Л. А., Бєлівцов А. О. Концептуальна модель автоматизації процесу дешифрування даних повітряної розвідки з використанням технологій системи штучного інтелекту. Системи озброєння і військова техніка. 2023. № 1 (73). С. 75-81. https://doi.org/10.30748/soivt.2023.73.09.
2. Тупиця І. М., Дейнеженко І. О., Крижанівський Є. С., Пархоменко М. В., Волков Ю. П., Ейдельштейн Г. Б. Метод автоматизації процесу виявлення об'єктів для підвищення ефективності дешифрування даних повітряної розвідки. Системи обробки інформації. 2023. № 2 (173). С. 63-73. https://doi.org/10.30748/soi.2023.173.08.
3. Tupitsya, I., Kryvonos, V., Gavura, I., & Vasiekin, D. Software and hardware module for automated detection and recognition of interest objects to increase the level of processing efficiency and reliability of aerial reconnaissance data. Automation of Technological and Business Processes. 2024. Vol. 16. No. 1. P. 61-71. https://doi.org/10.15673/atbp.v16i1.2773.
4. Тупиця І.М., Кривонос В.М., Василенко Р.В., Галепа О.Г., Штанько В.А. Концепція інтеграції сучасних прогресивних технологій в систему формування та обробки даних повітряної розвідки. Системи обробки інформації. 2025. № 1(180). С. 81–88. https://doi.org/10.30748/soi.2025.180.09.
5. Тупиця І.М., Кривонос В.М., Кібіткін С.О, Іващук Б.М., Дроль О.Ю., Штанько В.А. Модель автоматизованої обробки даних повітряної розвідки в умовах застосування безпілотних авіаційних систем. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2025. № 2(84). С. 141–149. https://doi.org/10.30748/zhups.2025.84.16.
6. Тупиця І. М., Іващук Б. М., Волков Ю. П., Пархоменко М. В., Галепа О. Г. Алгоритм формування моделі комп'ютерного зору в інтересах системи повітряної розвідки. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2025. №3. С. 140–146. https://doi.org/10.31649/1997-9266- 2025-180-3-140-146.

Тупиця Іван Михайлович *– доктор філософії, старший викладач кафедри експлуатації та застосування безпілотних авіаційних систем та комплексів повітряної розвідки, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: ivan20081982@gmail.com. ORCID https://orcid.org/0000-0001-6806-4914.*

Tupitsya Ivan M. *– PhD in Engineering, Senior Lecturer of the Department of Operation and Application of Unmanned Aviation Systems and Air Intelligence Complexes, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv, e-mail: ivan20081982@gmail.com. ORCID https://orcid.org/0000-0001-6806-4914.*

УДК 629.735.33

Дацюк А. І., Колесникова І. М.

ВИКОРИСТАННЯ ПРОТОКОЛУ RS-485 ТА ОДНОРАЗОВОЇ ПРОВІДНОЇ ЛІНІЇ ДЛЯ КЕРУВАННЯ НАЗЕМНИМ ДРОНОМ-КАМІКАДЗЕ

Анотація. *Зараз, в час коли засоби радіоелектронної боротьби набули широкого поширення, все частіше використовується керування за допомогою ізольованих середовищ поширення сигналу. Найпоширенішим з них є оптоволокно. Проте для деяких завдань досить і звичайної провідної лінії, адже робота з оптоволокном складна і воно є доволі дорогим.*

Ключові слова: *дрон, керування, провідна лінія.*

Abstract. *Now, when electronic warfare means have become widespread, control using isolated signal propagation media is increasingly being used. The most common of them is fiber optic. However, for some tasks, a regular wire line is sufficient, because working with fiber optic is complicated and quite expensive.*

Keywords: *drone, control, wire line.*

У наш час широкого поширення набули дрони різноманітних класів і призначень. В тому числі наземні дрони-камікадзе. За своїм визначенням це дешеві одноразові прості машини які здатні доставити певну кількість вибухівки з точки А в точку Б.

Використання в таких дронах радіокерування ускладнено як дією ворожих засобів РЕБ так і природніми перешкодами. Використання ж оптоволокна[1] значно здорожує та поскладнює конструкцію. До того ж оптичне волокно дуже вразливе до згинів та інших невеликих механічних пошкоджень.

В свою чергу використання протоколу RS-485[2] та одноразової провідної лінії для керування наземним дроном-камікадзе надзвичайно просте та дешеве а ремонт чи налагодження такого комплексу значно спрощується.

RS-485 забезпечує передачу даних з швидкістю до 10 Мбіт/с. Максимальна дальність залежить від швидкості: при швидкості 10 Мбіт/с максимальна довжина лінії — 120 м, при швидкості 100 кбіт/с — 1200 м. Протоколи обміну в більшості систем працюють за принципом «ведучий» — «ведений». Один пристрій на магістралі є ведучим (master) і ініціює обмін посилкою запитів підлеглим пристроям (slave), котрі розрізняються логічними адресами. Одним з популярних протоколів є протокол Modbus RTU.

Інтерфейс RS-485 використовує балансну (диференціальну) схему передачі сигналу. Це означає, що рівні напруги на сигнальних колах A і B міняються в протифазі. Передавач повинен забезпечувати рівень сигналу не менше від 1,5 В при максимальному навантаженні (32 стандартні входи і 2 термінальні резистори) і не більше 6 В на холостому ході. Рівні напруг вимірюють диференціально, один сигнальний дріт відносно іншого. На стороні приймача мінімальний рівень сигналу, що приймається, має бути не меншим за 200 мВ.

Як одноразова провідна лінія може використовуватися Котушка ПЕТД-200[3] з наступними характеристиками: загальний опір 20 Ом, кількість жил 2 од., діаметр проводу 0.5 мм, довжина проводу 120 м, діапазон робочих температур при експлуатації -25°C / +40°C, габаритні розміри виробу 110 мм / 45 мм / 45 мм, вага виробу 0.44 кг. Також може використовуватися звичайний мідний тонкий провід з емалевою ізоляцією або інший подібний, наприклад одиночна вита пара.

Вита пара – вид мережевого кабелю, з однією або декількома парами ізольованих провідників, скручених між собою (з невеликою кількістю витків на одиницю довжини) для зменшення взаємних наведень при передачі сигналу і покритих пластиковою оболонкою. Використовується для побудови мереж у багатьох технологіях, наприклад, Ethernet, ARCNet і Token ring. Останнім часом, завдяки своїй дешевизні й легкості установки, є найпоширенішою для побудови локальних мереж.

CAT 1 — телефонний кабель, всього одна пара. Провідники скручені між собою. Використовується для передачі голосу або даних за допомогою модему.

Екранування застосовується як до окремих кручених пар, які обертаються в алюмінієву фольгу (металізовану алюмінієм поліетиленову стрічку), так і до кабелю в цілому у вигляді загального екрану з фольги та/або обплетення з мідного дроту. Екран також може бути з'єднаний з неізольованим дренажним проводом, який служить для заземлення та механічно підтримує екран в разі поділу на секції при зайвому вигині або розтягуванні кабелю.

З використанням цього протоколу відео буде на дальності 300 – 400 м, а керування до 1500 м. Для простого робота камікадзе невеликої потужності цього цілком достатньо. Такі роботи можуть використовуватися як індивідуальна зброя бійця.

Навчання використанню та виробництву апаратів з даною технологією керування є простішим ніж зразків на оптоволокні. Також їх ремонт цих засобів передачі сигналів керування відбувається значно простіше і вимагає набагато менше спеціального обладнання.

Саме тому я вважаю що використання лінії керування на протоколі RS-485 допоможе зробити такі легкі дрони камікадзе масовими та місцями вони будуть одним з елементів індивідуального озброєння бійця або відділення.

Список використаних джерел:

1. Оптоволокно [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Оптоволокно (дата звернення 24.02.2025). – Назва з екрана.

2. RS-485 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/RS-485 (дата звернення 24.02.2025). – Назва з екрана.

3. Котушка ПЕТД-200 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://eg.net.ua/shop/kotushka-petd200 (дата звернення 24.02.2025). – Назва з екрана.

Дацюк Андрій Іванович *– студент групи 1КІТС-24м, кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем, факультет менеджменту та інформаційної безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: dandrii2910@gamil.com.*

Колесникова Інна Миколаївна *– викладач кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету e-mail: i.kolesnykova@donnu.edu.ua*

Andrii Ivanovych Datsyuk *– a student of the 1KITS-24m group, Department of Information Systems Management and Security, Faculty of Management and Information Security, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail address: dandrii2910@gamil.com*

Kolesnykova Inna Mykolaivna *– Lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University e-mail: i.kolesnykova@donnu.edu.ua*

УДК 623.4

О. М. Сорочкін, Ю. В. Шелест, Д. І. Кравченко, Д. О. Васильченко

РОЗВИТОК АВІАЦІЙНИХ РАКЕТ КЛАСУ «ПОВІТРЯ–ПОВІТРЯ»

Анотація: *у роботі проведений аналітичний огляд сучасних тенденцій розвитку авіаційних ракет класу «повітря–повітря» (AAM). Досліджено технологічні напрями модернізації систем наведення, сенсорної інтеграції, використання штучного інтелекту (ШІ) у системах управління та впровадження мережевоцентричних концепцій бойового застосування. На основі аналізу наукових публікацій 2020–2025 рр. визначено основні тренди: підвищення автономності, впровадження алгоритмів машинного навчання, стійкість до радіоелектронного протиборства та інтеграція ракет у бойові платформи нового покоління.*

Ключові слова: *авіаційне озброєння, ракети класу «повітря–повітря», штучний інтелект, наведення, сенсорна інтеграція, мережевоцентрична війна, автономні системи.*

Annotation: *the paper presents an analytical review of current trends in the development of air-to-air missiles (AAM). The study examines technological directions in the modernization of guidance systems, sensor integration, the use of artificial intelligence (AI) in control systems, and the implementation of network-centric combat concepts. Based on the analysis of scientific publications from 2020–2025, the main trends are identified: increased autonomy, the introduction of machine learning algorithms, enhanced resistance to electronic warfare, and the integration of missiles into next-generation combat platforms.*

Key words: *air armament, air-to-air missiles, artificial intelligence, guidance, sensor integration, network-centric warfare, autonomous systems.*

Розвиток засобів повітряного нападу та оборони вимагає постійного вдосконалення ракет класу «повітря–повітря», які є основним засобом ведення повітряного бою. Зі зростанням швидкостей, маневровості та інформаційної насиченості бойових дій з’являються нові вимоги до адаптивності, точності та інформаційної взаємодії озброєння.

Наукові дослідження останніх років [Yao et al., 2023; Wang & Zhou, 2024] свідчать про активну інтеграцію інтелектуальних систем у процес наведення ракет, а також про перехід від ізольованих систем до мережевоцентричних структур управління боєм.

Метою роботи є узагальнення сучасних тенденцій розвитку авіаційних ракет класу «повітря–повітря» з урахуванням технологічних і концептуальних змін у системах керування, наведення та бойового застосування.

Сучасні AAM характеризуються поєднанням автономного наведення з підтримкою зовнішніх каналів цілевказування. Такий підхід, що реалізується в рамках sensor fusion, дозволяє поєднати дані від різних типів сенсорів, забезпечуючи стійкість до перешкод і підвищення точності ураження [Zhao et al., 2022].

Згідно з дослідженнями Kim & Lee (2024), адаптивні нейромережеві алгоритми дозволяють прогнозувати маневри цілі та коригувати траєкторію в реальному часі, що підвищує ймовірність ураження при складних динамічних умовах бою.

Одним із ключових напрямів розвитку є впровадження ШІ у системи наведення. Алгоритми машинного навчання забезпечують здатність до самонавчання й адаптації до мінливих бойових ситуацій [Chen & Wang, 2021; Yao et al., 2023].

Такі системи дають змогу прогнозувати дії противника, зменшуючи потребу в безпосередньому зовнішньому керуванні — критично важливо в умовах інформаційних обмежень або РЕБ.

У рамках концепції network-centric warfare ракета розглядається як елемент спільної інформаційної системи. Це дає змогу обмінюватися даними про обстановку між літальними апаратами, підвищуючи ефективність групових дій [Vashchenko & Petrov, 2023; Yuan & Liu, 2023].

Розвиток активних антенних решіток і мультиспектральних сенсорів (інфрачервоних, радіолокаційних, оптичних) забезпечує зростання точності та надійності наведення навіть в умовах радіоелектронного протиборства [Zhao et al., 2022].

Паралельно з інтелектуалізацією зростає інтерес до вдосконалення енергетичних характеристик. Прямоточні повітряно-реактивні двигуни (ramjet, scramjet) забезпечують більшу дальність та гнучкість керування тягом [Singh & Yadav, 2020; Almeida & Peterson, 2022]. Це дозволяє створювати ракети з «адаптивним польотом» і динамічним розподілом енергії під час перехоплення.

Із розвитком платформ 6-го покоління змінюється роль ракети: вона стає частиною інтегрованої бойової мережі, у якій взаємодіє з пілотованими та безпілотними системами [Reed & Holtz, 2025]. Такі ракети здатні виконувати завдання колективного ураження, обмінюватися даними та координувати траєкторії у реальному часі.

Розвиток ракет класу «повітря–повітря» демонструє перехід від лінійного вдосконалення характеристик до комплексної інтеграції інтелектуальних і мережевих технологій. Основні тенденції — це підвищення автономності, використання алгоритмів машинного навчання, стійкість до РЕБ і створення систем, що діють у єдиному інформаційному середовищі.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на удосконалення алгоритмів ШІ, підвищення кіберстійкості систем і розробку стандартів взаємодії в межах інтегрованих бойових платформ.

Список використаних джерел:

1. Yao, S., Wang, X., Zhang, Q. Intelligent guidance and control technologies for future air-to-air missiles: A review. Chinese Journal of Aeronautics, 2023, 36(8), 97–115. DOI: 10.1016/j.cja.2023.02.004.
2. Kim, D., Lee, J. Adaptive neural network-based guidance for maneuvering targets. Aerospace Science and Technology, 2024, 147, 108634. DOI: 10.1016/j.ast.2024.108634.
3. Zhao, Y., et al. Advances in multi-sensor fusion for missile seekers under electronic countermeasures. Sensors, 2022, 22(11), 4145. DOI: 10.3390/s22114145.
4. Vashchenko, V., Petrov, A. Trends in air combat missile technology: Network-centric approaches. Defence Technology, 2023, 19(5), 820–833. DOI: 10.1016/j.dt.2023.01.002.
5. Chen, R., Wang, T. Machine learning-based trajectory optimization for modern AAMs. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 2021, 44(9), 1802–1815. DOI: 10.2514/1.G005432.
6. Singh, R., Yadav, M. Next-generation propulsion systems for long-range air-to-air missiles. Propulsion and Power Research, 2020, 9(3), 203–211. DOI: 10.1016/j.jppr.2020.07.006.
7. Wang, L., Zhou, D. AI-driven sensor fusion in networked air combat systems. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2024, 60(2), 1684–1696. DOI: 10.1109/TAES.2024.3346512.
8. Almeida, M., Peterson, J. Trends in missile propulsion and energy-efficient control. AIAA Propulsion Conference Proceedings, 2022, Paper 2022-3756. DOI: 10.2514/6.2022-3756.
9. Reed, B., Holtz, D. Cooperative engagement and distributed lethality in sixth-generation air combat. Journal of Defense Modeling and Simulation, 2025, 22(1), 56–70. DOI: 10.1177/1548512924123129.
10. Yuan, D., Liu, P. Integration of network-centric missile systems for multi-domain operations. Aerospace Defense Review, 2023, 31(2), 140–152.

Сорочкін Олександр Миколайович *- старший викладач кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків*

ORCID https://orcid.org/0000-0001-8336-9978

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.

Шелест Юрій Вікторович *- здобувач вищої освіти ступеня бакалавр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків*

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.

Кравченко Данило Іванович *- здобувач вищої освіти ступеня бакалавр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків*

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.

Васильченко Дмитро Олексійович *- здобувач вищої освіти ступеня бакалавр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків*

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.

Oleksandr Sorochkin *- senior lecturer of the Department of Aviation Weapons Complexes, aozhnups@gmail.com, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

ORCID https://orcid.org/0000-0001-8336-9978

Yurii Shelest *– higher education applicant with a bachelor's degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

Danilo Kravchenko *– higher education applicant with a bachelor's degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

Dmytro Vasylchenko *– higher education applicant with a bachelor's degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

УДК 343.982.327:623.44

Слободяник Є. І.

СЛІДИ ЗАСТОСУВАННЯ ВОГНЕПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ ТА МЕХАНІЗМ ЇХ УТВОРЕННЯ

Анотація. *У тезах подано узагальнений огляд основних видів слідів, що виникають у результаті застосування вогнепальної зброї, та описано механізми їх утворення. Розглянуто сліди на кулях, гільзах і перешкодах, а також фактори, що впливають на їх формування: конструкція зброї, характеристики боєприпасів та умови пострілу. Акцентовано увагу на значенні дослідження таких слідів для встановлення обставин події та ідентифікації зброї в судово-балістичній практиці.*

Ключові слова*: судова балістика, вогнепальна зброя, сліди зброї, постріл, сліди пострілу.*

Annotation.*The abstract provides a general overview of the main types of traces left by firearms and describes the mechanisms of their formation. It examines traces on bullets, cartridge cases, and obstacles, as well as the factors that influence their formation: weapon design, ammunition characteristics, and firing conditions. Emphasis is placed on the importance of studying such traces for establishing the circumstances of an incident and identifying weapons in forensic ballistics practice.*

Keywords: *forensic ballistics, firearm, gunshot marks, shot, gunshot wounds.*

Актуальність дослідження. Актуальність дослідження теми слідів застосування вогнепальної зброї та механізму їх утворення зумовлена важливістю забезпечення правосуддя та підвищення ефективності криміналістичних розслідувань в Україні. У сучасних умовах зростання кількості кримінальних правопорушень, пов'язаних із використанням вогнепальної зброї, вимагає удосконалення методів виявлення, аналізу та інтерпретації слідів зброї на місці події, а дослідження цих слідів має критичне значення для розкриття кримінальних правопорушень, оскільки вони можуть слугувати як важливий доказ у встановленні обставин скоєння кримінального правопорушення, особи правопорушника, а також механізму застосування зброї. Належна криміналістична експертиза сприяє підвищенню рівня доказової бази у судових процесах, що зміцнює законність та забезпечує правосуддя. Вивчення механізму утворення слідів вогнепальної зброї допомагає вдосконалити методи їх фіксації та ідентифікації, що особливо важливо для криміналістів і слідчих. В умовах сучасних технологій і розробок з'являються нові методи обробки доказів, що вимагає актуалізації знань та адаптації до нових підходів у криміналістиці. Дослідження механізмів утворення слідів вогнепальної зброї є важливим напрямом, який сприяє підвищенню ефективності кримінального розслідування, зміцненню доказової бази та покращенню роботи судово-експертних установ.

Метою даного дослідження є аналіз слідів застосування вогнепальної зброї та механізму їх утворення.

Виклад основного матеріалу. Використання вогнепальної зброї під час вчинення кримінальних правопорушень призводить до виникнення значної кількості слідів на місці події. Сліди зброї багатоформатні і залежать від багатьох різноманітних факторів: моделі зброї; використаних боєприпасів; умов вчинення кримінальних правопорушень; дій, які виконує суб'єкт для приховування слідів кримінального правопорушення. При цьому сліди зброї – це, насамперед, залишена зброя на місці вчинення кримінального правопорушення, боєприпаси, різні речі (шомпол, протирка, кобура, пакувальний матеріал, в якому зберігалася зброя: тканина, папір, дерево тощо). Сліди-предмети – це набої з осічкою, гільзи, шріт, клейтухи, прокладки, незгорілі порошинки, сліди кіптяви. Сліди застосування (використання) вогнепальної зброї поділяють на основні та додаткові. Основні сліди – це різноманітні пошкодження, яких завдає снаряд (куля, дріб, картеч) перешкоді: пробоїни: наскрізні та сліпі; сліди рикошету; поясок обтирання; поясок осаднення – слід на тілі людини; штанцмарка. Додаткові сліди супроводжують основні та виникають у результаті впливу на перешкоду порохових газів, полум'я, кіптяви, незгорілих частинок пороху, крапель мастила, залишків капсульної суміші (кіптява та незгорілі порошинки; відкладення продуктів змащування каналу ствола або осадки кулі; розриви тканини одягу) [1, с. 396].

Практичною формою застосування судової балістики є проведення судово-балістичної експертизи – спеціального дослідження, яке проводиться, відповідно до Кримінального процесуального кодексу України, на підставі процесуального документа, особою, що володіє спеціальними знаннями, і якій доручено провести дослідження об'єктів, явищ і процесів, що містять

відомості про обставини вчинення кримінального правопорушення. Результатом такого дослідження є висновок експерта як процесуальне джерело доказів у кримінальному провадженні. Одним із найважливіших об'єктів, що досліджуються судовобалістичною експертизою, є сліди застосування вогнепальної зброї та механізм їх утворення. Сліди зброї – це сліди взаємодії зброї, боєприпасів з предметами матеріального середовища (обстановки) - пробоїни, вм'ятини, зруйновані предмети тощо [2, с. 78].

Найбільша кількість слідів зброї залишається на гільзах, снарядах (куля, дріб), перешкодах і тілі особи, що стріляла (на предметах, руках, обличчі, одягу). Тому при огляді місця події саме на джерела інформації належить звертати особливу увагу, здійснювати їх огляд і дослідження за участю фахівця. Вид слідів, особливості їх розташування допомагають вирішити багато питань, які виникають перед слідчим. Крім того, їх фіксація забезпечує успішне проведення судово-балістичної та інших судових експертиз. До цих слідів відносяться: 1) стріляні снаряди, гільзи, пижі; 2) частки речовин, що виникають при згорянні пороху, які викидаються з каналу ствола; 3) сліди, що утворюються на стріляних кулях і гільзах; 4) сліди-ушкодження від снаряда на ураженому об'єкті; 5) відкладення кіптяви пострілу на тілі (найчастіше на руці) особи, що стріляла. Сліди згоряння заряду у вигляді кіптяви залишаються у каналі ствола зброї, на кулях, картонних прокладках, пижах, на паску обтирання та перепоні. Сліди частин зброї утворюються на кулях, дробу і гільзах. Вид і характер слідів залежить від конструкції зброї. На гільзах, відстрелених з автоматичної зброї, сліди утворюються: на капсулі – слід від бійка ударника у вигляді вм'ятин і сліди переднього зрізу затвора – борозенки і валика; на денці гільзи – слід відбивача; на ребрі та дні кільцевого паза – сліди від зачіпки викидача. На корпусі гільзи можуть відбитися сліди патронника у вигляді повздовжніх трас і дрібні вм'ятини від країв кожуха затвора. На кулі (при пострілі з нарізної зброї) утворюються сліди від стінок каналу ствола. Такі сліди складаються з дрібних валиків і борозенок. Кількість слідів (смуги) та їх нахил щодо повздовжньої осі кулі відповідають кількості та напрямку нарізів каналу ствола. На перепонах від кулі та дробу виникають пробоїни, вм'ятини, тріщини, розриви, сліди кіптяви у вигляді пояска обтирання. У пробоїні розрізняють вхідний і вихідний отвори. Вхідний кульовий отвір в еластичних перепонах має дещо менший діаметр, ніж діаметр кулі; у сухому дереві, листовому металі отвір близький до калібру кулі; у ламких твердих перепонах (скло, цеглина) отвір може бути навіть дещо більшим, ніж діаметр кулі; на тілі людини діаметр вхідного отвору, як правило, менший за діаметр кулі [3, с. 224].

При виявленні слідів кіптяви, незгорілих порошинок, частин змазки необхідно описати в протоколі: інтенсивність кожної зони, колір кіптяви чи порошинок, форму, кількість зон відкладення, їх віддаленість від пошкодження. Щодо слідів застосування зброї, зазначаємо наступне. При пострілі з вогнепальної зброї відбувається взаємодія порохового заряду, снаряда і перепони, в наслідок чого формуються зміни, які доктриною прийнято вважати слідами пострілу або слідами застосування зброї. До таких слідів відносяться: сліди-ушкодження від снаряда на ураженому об'єкті; стріляні снаряди, гільзи, пижі; частки речовин, що виникають при згорянні пороху, які викидаються з каналу ствола; сліди, що формуються на стріляних кулях і гільзах; кіптява [4, с. 304].

Механізм пострілу з вогнепальної зброї є процесом викидання снаряда (кулі або дробу) з каналу ствола за рахунок енергії газів, що утворюються при вибуховому горінні порохового заряду. При пострілі в каналі ствола в дуже короткі проміжки часу (від тисячних до сотої частки секунди) відбуваються хімічні процеси газоутворення, розвиваються високі температури (до 3500 °С) і високий тиск. Механізм здійснення пострілу складається із трьох послідовних стадій: 1) займання порохового заряду, що відбувається при ударі бійка по капсулі гільзи; 2) виштовхування снаряду з каналу ствола під тиском газів; 3) зустріч снаряду, що летить, з перешкодою. При здійсненні пострілу виникають сліди на кулях, гільзах і перешкодах. Ці сліди дозволяють встановити групову належність вогнепальної зброї, ідентифікувати конкретний зразок зброї, встановити обставини пострілу [1, с. 396].

У механізмі утворення слідів зброї на кулях виділяють три основних етапи: 1. Входження кулі до кульового входу. 2. Врізання оболонки кулі в нарізи. 3. Поступально-обертальний рух кулі в каналі ствола. Розрізняють такі види слідів на стріляних кулях: 1. Від полів нарізів – «відбиток» граней нарізів. 2. Сліди поверхні дна нарізів, іноді їх називають слідами нарізів [2, с. 78].

Слід зазначити, що балістична експертиза дозволяє встановити факти, необхідні для належної кваліфікації кримінального правопорушення. За допомогою криміналістичних досліджень зброї та слідів пострілу з'ясовують сутність події, що відбулася, визначають місце, час, спосіб його вчинення; встановлюють причинний зв'язок між діями і наслідками (кількість вироблених пострілів, їх

черговість тощо). В такому випадку на тілі та одязі живих осіб і трупів проводиться комплексне судово-балістичне та судово-медичне дослідження [1, с. 397].

Висновки. Отже, сучасні методи криміналістичного дослідження, такі як використання балістичних експертиз та інших наукових підходів, допомагають слідчим не лише відтворювати події на місці кримінального правопорушення, а й встановлювати причетність підозрюваних. Розуміння механізмів утворення слідів пострілу є важливим для ефективної роботи експертів та забезпечення належної доказової бази. Розвиток технологій сприяє удосконаленню методів виявлення та аналізу слідів, що підвищує точність і надійність результатів розслідування, що, в свою чергу, сприяє підвищенню рівня професійної підготовки експертів та зміцненню довіри громадськості до правових інститутів. Таким чином, дослідження слідів застосування вогнепальної зброї та механізму їх утворення є важливим напрямом криміналістики, який має значний вплив на процес розслідування кримінальних правопорушень, забезпечення правосуддя та ефективність судових експертиз.

Список використаних джерел:

1. Сенченко Н.М., В.В. Пророченко. Криміналістичне дослідження слідів пострілу та їх значення у розкритті кримінальних правопорушень. *Порівняльно-аналітичне право*. 2019. С. 395-398. URL: http://surl.li/mgpple (дата звернення: 15.11.2024).

2. Петровець А.В. Сліди застосування вогнепальної зброї на стріляних кулях та гільзах як носій криміналістичної інформації. 2021. С. 77-80. URL: http://surl.li/mhbynl (дата звернення: 15.11.2024).

3. Мельник Р. В., І. А. Голдинський. Поняття слідів вогнепальної зброї та механізм утворення слідів вогнепальної зброї на гільзі. *Право і суспільство*. 2016. С. 222-227. URL: http://surl.li/ikkthb (дата звернення: 15.11.2024).

4. Мартиновська В. Окремі питання фіксації зброї та слідів її застосування. 2022. С. 302-307. URL: https://dspace.onu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/c881b437-8516-49ee-a67f-f0b15d728a73/content (дата звернення: 15.11.2024).

Слободяник Євгеній Іванович *– головний судовий експерт сектору досліджень зброї відділу криміналістичних видів досліджень Вінницького науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України НДЕКЦ МВС, Вінницький НДЕКЦ МВС, м.Вінниця, e-mail: slobodianukEv@ukr.net*

Slobodianyk Yevhenii Ivanovych *– chief forensic expert weapon research sector of the Department of Vinnytsia Scientific Research Expert and Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine NDECC of the Ministry of Internal Affairs, Vinnytsia NDECC of the Ministry of Internal Affairs, Vinnytsia, e-mail: slobodianukEv@ukr.net*

УДК 358.4:623.46

Рубльов В. І., Отрешко Н. М., Рубльова Р. І.

ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА БОЙОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ МОБІЛЬНИХ ЗРК СЕРЕДНЬОЇ ДАЛЬНОСТІ

Анотація. *Розглянуто актуальну науково-практичну проблему об'єктивного порівняльного аналізу сучасних мобільних зенітно-ракетних комплексів (ЗРК) середньої дальності, важливість якої суттєво зросла в умовах повномасштабної війни в Україні.*

Ключові слова: *зенітно-ракетний комплекс (ЗРК), протиповітряна оборона (ППО), бойовий потенціал, порівняльний аналіз, інтегральна оцінка, тактико-технічні характеристики (ТТХ), мобільність, багатоканальність, радіолокаційна станція (РЛС).*

Abstract. *The current scientific and practical problem of objective comparative analysis of modern medium-range mobile surface-to-air missile (SAM) systems has been considered. The importance of this problem has significantly increased in the context of the full-scale war in Ukraine.*

Keywords: *SAM, air defense, mobility, combat potential, integral assessment, hybrid warfare, UAV, electronic warfare.*

Постановка проблеми

В умовах сучасних збройних конфліктів, що характеризуються інтенсивним застосуванням високоточної зброї, крилатих ракет, розвідувально-ударних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та тактичної авіації, роль зенітно-ракетних комплексів (ЗРК) середньої дальності суттєво зросла. Ці системи, що мають зону ураження, як правило, від 20 до 150 км, виступають як важливий елемент у структурі протиповітряної оборони (ППО) [9, с. 45-51]. Вони забезпечують безпосереднє прикриття військ на марші та в районах зосередження, а також захист стратегічно важливих об'єктів та критичної інфраструктури на оперативній та тактичній глибині. Досвід повномасштабної війни в Україні переконливо демонструє, що саме ЗРК середнього радіусу дії є «робочими конячками» ППО, що беруть на себе основне навантаження в боротьбі з найбільш поширеними повітряними загрозами.

Для подолання обмежень традиційного, редукціоністського підходу до порівняльного аналізу, що ґрунтується на окремих ТТХ, у даному дослідженні запропановано нову методику. Вибір критеріїв для аналізу ґрунтується на досвіді сучасних збройних конфліктів, що демонструє ключову важливість не лише дальності, а й таких параметрів, як вогнева потужність, тактична мобільність, технологічний рівень та економічна ефективність [13, с. 67-75]. Центральним елементом методики є Комплексний Нормалізований Індекс Бойового Потенціалу ($К_{КНІБП}$), який розраховується як зважена сума чотирьох ключових нормалізованих коефіцієнтів.

Коефіцієнт зони ураження (Кз) відображає об'єм повітряного простору, який комплекс здатен контролювати та захищати:

$$Кз = ((Дальність + Висота)) / (max_значення).$$

Коефіцієнт вогневої потужності (Кв) оцінює здатність системи одночасно обстрілювати множинні цілі, а також боротися з високошвидкісними загрозами:

$$Кв = ((Кількість цілей \times Макс. швидкість цілі/1000)) / (max_значення)$$

Коефіцієнт тактичної мобільності (Км) є життєво важливим для виживання, оскільки менший час розгортання та згортання системи знижує її вразливість перед контрбатарейними ударами:

$$Км = (max_час - Час розгортання) / (max_час).$$

Коефіцієнт технологічного рівня (Кт) враховує сучасність ключових компонентів системи, таких як тип радара та спосіб наведення ракети, що безпосередньо впливає на її ефективність в умовах радіоелектронної протидії.

$$Кт = ((Бал\ радара + Бал\ наведення)) / (3.0).$$

Розрахунок індексу $К_{КНІБП}$ здійснюється за формулою:

$$К_{КНІБП}=(0.3\times Кз)+(0.3\times Кв)+(0.15\times Км)+(0.25\times Кт)$$

Вагові коефіцієнти коректно відображають пріоритетність фундаментальних бойових можливостей (зона ураження та вогнева потужність) над тактичними властивостями (мобільність та технологічний рівень). Нормалізація кожного коефіцієнта здійснюється за методом Min-Max на основі даних, зібраних для досліджуваної вибірки ЗРК середньої дальності. Такий підхід забезпечує об'єктивне ранжування різнорідних систем на єдиній шкалі від 0 до 1, що дозволяє проводити не лише кількісне, а й якісне порівняння їхніх бойових можливостей.

Проаналізовано більше 20 ЗРК з 1950-х років по теперішній час, які поділені на 3 групи.

Основні тенденції, які можна виділити з аналізу:

1. Загальне зростання бойового потенціалу з часом: спостерігається чітка тенденція до збільшення індексу $К_{КНІБП}$ з 1950-х років до сьогодення. Системи, розроблені в 21-му столітті, мають значно вищий інтегральний потенціал у порівнянні з комплексами, створеними в середині та кінці 20-го століття. Це свідчить про загальну еволюцію технологій та доктрин, що підвищують ефективність сучасних ЗРК.
2. Залежність бойового потенціалу від дальності ураження:
   - Комплекси з дальністю менше 50 км (L<50 км), позначені синім кольором, переважно мають найнижчі показники $К_{КНІБП}$. Системи, такі як MIM-23 Hawk (1959) та 2К12 «Куб» (1967), знаходяться в нижній частині графіка. Навіть більш сучасні комплекси цієї категорії, наприклад Pantsir-S1 та HQ-17A, демонструють помірні показники, що вказує на їхню обмежену ефективність у порівнянні з далекобійними системами.
   - Комплекси з дальністю від 50 до 100 км (50 км < L < 100 км), позначені помаранчевим, демонструють ширший розкид індексів. Такі системи, як Type 03 Chu-SAM (2003) та 9К317 «Бук-М2» (2008), мають середні показники. При цьому 9К317 «Бук-М3» (2016) є винятком, демонструючи надзвичайно високий індекс $К_{КНІБП}$ (близько 0.79), що ставить його в один ряд із найсучаснішими далекобійними системами. Це підкреслює його унікальне поєднання високої вогневої потужності та мобільності.
   - Комплекси з дальністю понад 100 км (L>100 км), позначені сірим, стабільно посідають верхню частину графіка. Ці системи, включаючи SAMP/T (2010), David's Sling (2017) та HQ-22 (2017), мають найвищі значення $К_{КНІБП}$. Їхній бойовий потенціал значно вищий, що відображає доктринальний акцент на забезпеченні широких зон заборони доступу (A2/AD) та перехоплення високошвидкісних балістичних цілей.
3. Збільшення розкиду показників для нових систем: Графік показує, що системи, розроблені після 2010 року, мають значно більший розкид індексів $К_{КНІБП}$. Це свідчить про зростання спеціалізації сучасних ЗРК, де одні комплекси оптимізовані для конкретних загроз і тактичних ніш (наприклад, David's Sling для ПРО), а інші — для універсальних завдань.

Найбільш ефективною стратегією для країн, що прагнуть посилити свою протиповітряну оборону, є не уніфікація систем, а їхня синергійна інтеграція в єдину мережу. Досвід України демонструє, що поєднання різнорідних, але технологічно сумісних західних комплексів, таких як NASAMS, IRIS-T SLM та Patriot, дозволяє створити гнучку, багатошарову систему ППО, здатну протистояти складним та масованим повітряним загрозам. Модульність, мережева архітектура та впровадження принципів «вистрілив-забув» стають ключовими вимогами для майбутніх поколінь ЗРК.

Для подальших досліджень актуальним є більш детальний аналіз ефективності сучасних систем проти малорозмірних, низькошвидкісних та високоманеврених загроз, таких

як БПЛА, а також їхня стійкість до специфічних засобів радіоелектронної боротьби, що застосовуються в умовах реального конфлікту.

Список використаних джерел:

1. The Military Balance 2024. The International Institute for Strategic Studies (IISS). London: Routledge, 2024. 552 p.
2. Jane's Land-Based Air Defence 2023–2024. Edited by T. Williams. London: Janes Information Group, 2023. 1020 p.
3. Зброя російсько-української війни 2022-2023 років: Довідник-каталог. Київ: Центр досліджень воєнної історії ЗСУ, 2023. 243 с.
4. Bronk J., Reynolds N., Watling J. The Russian Air War and Ukrainian Air Defence. RUSI Special Report. 7 November 2022. URL: https://www.rusi.org/explore-our-research/publications/special-resources/russian-air-war-and-ukrainian-air-defence
5. Karako T., Rumbaugh W. Patriot to Ukraine: What Does It Mean? CSIS Analysis. 21 December 2022. URL: https://www.csis.org/analysis/patriot-ukraine-what-does-it-mean
6. SIPRI Arms Transfers Database. Stockholm International Peace Research Institute. 2024. URL: https://www.sipri.org/databases/armstransfers
7. Залужний В., Забродський М. Перспективи забезпечення воєнної кампанії 2023 року: український погляд. Укрінформ. 7 вересня 2022. URL: https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/3566100-perspektivi-zabezpecenna-voennoi-kampanii-2023-roku-ukrainskij-poglad.html
8. ЗРК С-400: чи дійсно він настільки "аналоговнєт", як про це говорять у РФ. Defense Express. 16 травня 2023. URL: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/zrk_s_400_chi_dijsno_vin_nastilki_analogovnjet_jak_pro_tse_govorjat_u_rf-11440.html
9. Згурець С. Г. Ефективність систем ППО в умовах сучасних конфліктів: уроки для України. Наука і оборона. 2022. № 1. с. 45–51.
10. Williams I., Mount A. North Korea’s Missile Message. CSIS Briefs. 25 January 2022. URL: https://www.csis.org/analysis/north-koreas-missile-message
11. Ковальчук В. В., Петров М. С. Методи підвищення завадозахищеності багатофункціональних РЛС зенітних ракетних комплексів. Системи озброєння і військова техніка. 2021. № 2(66). с. 34–40.
12. Швець В. М. Особливості застосування зенітних ракетних комплексів великої дальності в умовах радіоелектронної протидії. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2022. Вип. 4(74). с. 74–78.
13. Слюсарев О.М., Бойко О.М. Досвід бойового застосування ЗРК середньої дальності в умовах гібридної війни. Вісник Національного університету оборони України. 2023. Вип. 1(53). с. 67-75.
14. Johnson P. The Rise of the NASAMS: The 'Patriot's Little Brother' and Its Global Impact. Journal of Air Defense Studies. 2022. Vol. 15, No. 3. pp. 88-101.
15. Дорошенко П.Л. Тактика прикриття військ від повітряних загроз: аналіз застосування ЗРК на оперативному рівні. Військово-технічний збірник. 2023. № 2(14). с. 112-120.

Рубльов Володимир Іванович *– кандидат технічних наук, доцент кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. вул. Сумська 77, м. Харків. e-mail: rublik1969@gmail.com. orcid.org/0000-0001-6300-244X*

Отрєшко Наталія Миколаївна *– старший викладач кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. вул. Сумська 77, м. Харків. e-mail: otreshkonatali@gmail.com. orcid.org/0000-0003-0677-3090*

Рубльова Раїса Іванівна *- старший викладач кафедри філософії Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. вул. Сумська 77, м. Харків. e-mail: rrublyva@gmail.com. orcid.org/0009-0008-3962-8096*

УДК 629.7.069

Синюк М. А., Медвідь А. В., Георгієв Ю. В.

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ АВІАЦІЙНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Анотація. *В даній тезі розглянуто актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту авіаційних генераторів постійного струму.*

Abstract: *This thesis considers current problems of combat use and operation and repair of aviation DC generators.*

Ключові слова: *авіаційна техніка(АТ),генератор,постійного струму, система електропостачання, повітряне судно.*

Keywords: *aviationtechnology (AT), generator, directcurrent, powersupplysystem, aircraft*

В умовах ведення бойових дій, досвід експлуатації сучасних ПС показує, що число відмов в системах електропостачання постійного струму не перевищує 8% від загального числа відмов і несправностей всього авіаційного обладнання. Актуальні проблеми в бойовому застосуванні експлуатації та ремонту авіаційних генераторів постійного струму включають зниження надійності, обмеженість ресурсу через складні умови експлуатації, складнощі з ремонтом та обслуговуванням, недостатньою адаптивністю до сучасних вимог та проблем з забезпеченням комплектуючими. Ці проблеми призводять до зниження ефективності авіації, збільшення витрат на обслуговування та потребують рішень, включаючи модернізацію, розробку нових технологій ремонту та покращення запасних частин.

Проблеми бойового застосування та експлуатації:

- Зниження надійності: експлуатація в екстримальних умовах призводить до прискореного зносу;
- Обмежений ресурс: сучасні умови експлуатації особливо в зонах бойових дій, призводять до швидшого напрацювання ресурсу генераторів, що вимагає частіших замін та збільшує навантаження на логістику та ремонтні потужності;
- Недостатня адаптованість до нових систем: деякі старі моделі ГПС можуть бути менш ефективними або не повністю інтегруватися з новою авіаційною електорнікою та системами живлення, що обмежує можливості модернізації літальних апаратів.

Найбільше число несправностей в системах електропостачання постійного струму припадає на генератори постійного струму і електричні перетворювачі.Аналіз типових несправностей генераторів постійного струму є важливою складовою процесу діагностики та обслуговування цих пристроїв. Несправності можуть впливати на ефективність роботи генератора, його надійність та тривалість служби. Важливою умовою успішного встановлення причин відмов пристроїв електропостачання являється знання закономірностей і фізичної суті змін технічного стану елементів цих пристроїв. В таблиці 1.1 приведені причини відмов системи електропостачання постійного струму.

Пристрої електропостачання	Причини відмов
Генератори, перетворювачі	Підгар, підплавленняколектора; набухання колектора; руйнування щіточних пружин; заклинення, зависання щіток в щіткотримачах; коротке замикання в секціях обмоток якоря, ротора, збудження, фази; послаблення, руйнування непроводящих та проводящих плівок на контактах; обрив обмоток; пробої ізоляції кіл управління;

Контактні пристрої	Попадання посторонніх предметів в штепсельні роз'єми; порушення електричного контакта; попадання в ШР рідин, вологи.
Провода електричних мереж	Руйнування (ізлом, перетирання, підріз, пропалювання) проводів; руйнування, пошкодження ізоляції; порушення пайки з'єднань, не пропаювання.

Таблиця 1.1 – Основні причини відмов електропостачання постійного струму.

Наприклад, близько 48% несправностей систем електропостачання постійного струму, виявлених на землі і понад половини відмов і несправностей, виявлених в польоті. З найпоширеніших несправностей генераторів постійного струму включають наступне:

Проблеми з колектором, розміщення якого показано на рис. 1.1.

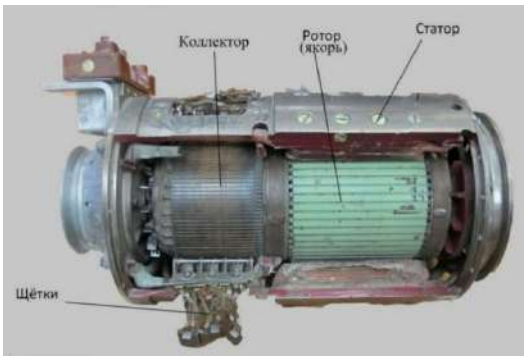


Рисунок 1.1 – Розташування колектора.

Колектор генератора постійного струму служить для збору струму з комутатора та подачі його на виходи. Знос, корозія або виривання контактів колектора можуть призвести до погіршення збору струму та нерівномірної роботи генератора. Колектор машини повинен бути чистим, не мати задирок.

Основним видом несправностей генераторів постійного струму є знос і руйнування підшипників. Контроль підшипників генераторів постійного струму проводиться при знятих щітках. При справних підшипниках ротор машини повинен провертатися легко, без шуму і не мати радіального люфту.

Радіальний люфт підшипників обумовлює при роботі генератора биттям ротора, яке може бути зафіксовано за допомогою датчика вібрації або іншими методами. Обмотки статора та ротора генератора постійного струму можуть бути піддані різним видам пошкоджень, таким як обриви, замикання або знос ізоляції. Це може призвести до зниження ефективності генератора, втрати потужності або навіть відмови. Генератор постійного струму може мати проблеми зі стабільністю вихідної напруги або струму. Це може бути спричинено неправильно налаштованими регуляторами або пошкодженими випрямляючими діодами. Також є проблема втрати напруги або потужності, коли генератор не здатний забезпечити необхідну електричну потужність. Це може бути викликано проблемами зі статором, ротором, комутаційними кільцями, кулачками, щітками або з'єднаннями.

Недостатня ізоляція може спричинити пробої або витоки струму, що може призводити до нестабільності роботи генератора і підвищеного ризику пожежі. Проблеми з ізоляцією можуть виникати через пошкодження утворених плівок або некоректну монтажну практику. Знос або пошкодження щіток та кулачків є важливими компонентами для передачі струму із ротора на статор генератора. Знос або пошкодження цих елементів може призвести до неправильної передачі струму, зниження ефективності генератора та збільшення тертя і випромінювання. Щітки, висота яких виявляється менше гранично допустимої для даного генератора, а також щітки, які мають відколи робочої поверхні, замінюються новими. Нові щітки повинні бути притерті до колектора (контактних кілець) дрібним шліфувальним папером. Надмірне нагрівання генератора може бути результатом неправильної роботи системи охолодження або обмеженого потоку повітря. Це може призвести до збільшення температури і появи проблеми в генераторі.

Генератори мають системи регулювання напруги для забезпечення стабільного вихідного струму. Проблеми з регулюванням можуть включати неправильну реакцію на зміни навантаження, нестабільність вихідної напруги або великі коливання вихідного струму. Це може бути викликано несправностями в системі регулювання, наприклад, пошкодженням регулятора напруги або електронних компонентів.

Елементи генератора, такі як контакти, з'єднання, кабелі та заземлення, піддаються корозії та окисленню під впливом вологості, агресивних середовищ або довгострокової експлуатації. Корозія може призвести до втрати контакту, погіршення провідності або виникнення електричних несправностей.Вібрація та удари під час експлуатації авіаційного генератора можуть призвести до пошкодження компонентів, розриву з'єднань або зміни механічних властивостей. Це може спричинити неправильну роботу генератора або навіть випадкове відключення.

Багато систем електропостачання постійного струму використовують авіаційні колекторні генератори зі щітковими та колекторними вузлами. Ці генератори часто працюють з вугільними регуляторами напруги, але надійність та точність їх роботи залишаються проблемними. Тому системам електропостачання необхідно приділити особливу увагу їх експлуатації.

Їхефективна експлуатація та своєчасне технічне обслуговування авіаційних генераторів постійного струму є запорукою надійної роботи всіх систем літака, а удосконалення методів ремонту і модернізації- ключ до підвищення бойової готовності авіаційної техніки.

Список використаних джерел:

1. Електричні машини: підручник. / Б.Т. Кононов, Г.І. Лагутін, О.Б. Котов, А.О. Нечаус; за заг. ред. Б.Т. Кононова. – Х.: ХУПС, 2015.
2. Мартинюк В.С. Авіаційні електричні машини та апарати. – К: НАУ, 2012.
3. Зєнович О. Є., Кабаков В. О. Керівництво до лабораторних занять з дисципліни «Електропостачання літальних апаратів». Х.:ХІ ВПМ, 2003.
4. Зєнович О.Є., Кривонос В.М. "Системи електропостачання повітряних суден". Навчальний посібник - Х: ХНУПС, 2021.

Синюк Максим Андрійович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email: maks7710728@gmail.com*

Медвідь Анастасія Володимирівна *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email: nastyamedvid17@gmail.com*

Георгієв Юрій Вікторович *– Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966.*

Synyuk Maksym Andriyovych *- Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, student of 262C training group, Kharkiv, Ukraine; email: maks7710728@gmail.com*

Medvid Anastasia Volodymyrivna *- Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, student of 262C training group, Kharkiv, Ukraine; email: nastyamedvid17@gmail.com*

Yuriy Viktorovych Georgiev *– Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, senior lecturer, department No. 203, Kharkiv, Ukraine; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966.*

УДК 623.1

Маляренко О. С., Трофимов І. М.

СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД ПУНКТІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ТАКТИЧНОГО РІВНЯ

Анотація. *Наведені вимоги до спеціальних фортифікаційних споруд пунктів управління тактичного рівня Повітряних Сил Збройних Сил України, які враховують досвід боротьби з російським агресором і реальні кліматичні умови України.*

Ключові слова: *Повітряні Сили; пункт управління; фортифікаційна споруда; вимоги; устрій та обладнання; технічні характеристики.*

Abstract. *The requirements for special fortification buildings of tactical-level command posts of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, which take into account the experience of fighting the russian aggressor and the real climatic conditions of Ukraine, are presented*

Keywords: *Air Force; command post; fortification building; requirements; structure and equipment; technical characteristics.*

Пункти управління (ПУ) усіх рівнів як критичні елементи військової інфраструктури є об'єктами першочергової уваги противника та вогневого ураження усіма видами боєприпасів і тому потребують надійного захисту. Вимоги до фортифікаційних споруд сформульовані у військовому стандарті ВСТ 01.106.004–2018(01) [1], але він визначив вимоги лише до опорних пунктів підрозділів Сухопутних військ. Спеціальні фортифікаційні споруди (СФС) ПУ тактичного рівня (ПУТР) Повітряних Сил мають відповідати вимогам, що висувають сучасні умови бойової роботи на ПУ Повітряних Сил, ураховувати досвід ведення бойових дій.

СФС ПУТР мають забезпечувати розміщення бойової обслуги та технічних засобів оброблення і відображення інформації, управління і зв'язку, створення необхідних умов для бойової роботи, відпочинку та побутових потреб особового складу, захисту від засобів ураження противника та несприятливих атмосферних умов. СФС ПУТР мають забезпечувати також безперебійне електроживлення всіх споживачів, можливість швидкого покидання ПУТР (евакуації) особового складу, відновлення будівлі та технічних засобів СФС, боєздатності ПУТР.

Безпосередній захист від усіх чинників ураження – задача захисних конструкцій (підземні споруди, фундаменти, металеві двері, зовнішні стіни і покриття СФС). Внутрішні конструкції (перегородки, сходи тощо) мають створювати службові, технічні та допоміжні приміщення, параметри яких залежать від призначення ПУТР та кількості особового складу чергових змін.

До службових відносяться приміщення для оперативного складу (бойової обслуги) ПУТР, який розміщається в них з метою виконання завдань за призначенням. У приміщеннях зв'язку та інформаційних систем розміщується апаратура автоматизованої системи управління і засоби зв'язку з обслуговуючим персоналом для забезпечення безперервної і стійкої роботи.

Технічні приміщення призначені для розміщення технічних систем та особового складу, який забезпечує роботу технічних засобів та безперервне функціонування СФС в цілому. До них відносяться приміщення, де розміщені системи життєзабезпечення СФС. Допоміжні приміщення забезпечують необхідні побутові умови для особового складу. Такими приміщеннями є кімнати відпочинку, пункти харчування, склади, душеві, умивальні, туалети тощо.

Технічні засоби мають забезпечувати безперебійне функціонування засобів керування та зв'язку, життєдіяльності обслуг ПУТР. Технічні засоби включають системи зовнішнього та автономного (робочого та аварійного) електроживлення, кондиціювання повітря, пожежогасіння, мережі робочого, аварійного та евакуаційного освітлення приміщень, проходів, виходів, канали введенні зовнішніх комунікацій із пристроями захисту від ударної хвилі,

Прохід до інших споруд бойових позицій (СФС, укриттів, будівель, пунктів візуального спостереження, фортифікаційних споруд наземної та протиповітряної оборони тощо) може здійснюватися через відкриті ходи сполучення.

Котлованний спосіб будування СФС є очевидним: наземні ПУ будувались у СРСР у районах

вічної мерзлоти, підземні СФС потребують спеціальної техніки, великих для ПУТР фінансових і часових витрат.

СФС ПУТР повинні забезпечувати нормальне тривале функціонування незалежно від фізико-географічних умов позиції, часу доби, пори року та метеорологічних умов, які для України мають бути відомі розробникам СФС (інженерним структурам ЗСУ, проектувальникам та будівельникам).

ВСТ 01.106.004-2018(01) встановив температурний режим застосування фортифікаційних споруд від мінус 50ºС до 50ºС за відносної вологості повітря 100%. Проте за даними Центральної геофізичної обсерваторії України за 150 років регулярних метеоспостережень абсолютний (короткочасний) максимум температури дорівнює 42ºС (Луганськ, 2010 рік), абсолютний мінімум – мінус 41,9ºС (Луганськ, 1935 рік) і з глобальним потеплінням не буде повторений, а вологість 100% за температури +50ºС є нереальною. Доцільно ці параметри узяти із ВСТ 01.214.001–2020(02) [3], які стосуються засобів, що функціонують на відкритому повітрі: температура навколишнього повітря від мінус 40ºС до 50ºС, відносна вологість до 98 % при 25 ºС;

Виходячи із практики застосування засобів ураження агресором, СФС ПУТР повинні витримувати багатократне влучання фугасних, кумулятивних та бронебійних снарядів ствольної (реактивної) артилерії калібром до 300 мм без порушення функціонування або однократне влучання авіаційної бомби калібром до 500 кг, крилатої ракети, тактичної балістичної ракети, термобаричного або бетонобійного боєприпасу з допустимим частковим порушенням функціонування з можливим відновленням.

З урахуванням постійних загроз російського агресора застосувати тактичну ядерну зброю СФС ПУТР повинні витримувати дію чинників ураження однократного наземного або повітряного вибуху тактичного ядерного боєприпасу. Характеристики розрахункового ядерного боєприпасу (тротиловий еквівалент, вид вибуху, відстань до епіцентру або надлишковий тиск у фронті ударної хвилі) мають бути визначені у Збройних Силах України централізовано установами, до компетенції яких входять ці питання. СФС повинні забезпечувати функціювання ПУТР в умовах радіоактивного (як наслідки ядерного вибуху або аварій на атомних об'єктах), хімічного та бактеріологічного зараження місцевості.

Список використаних джерел:

1. ВСТ 01.106.004–2018(01). Інженерне забезпечення. Система загальних тактико-технічних вимог до інженерного озброєння. Технічні вимоги до фортифікаційних споруд.

2. ВСТ 01.214.001–2020(02). Інженерно-радіоелектронне забезпечення. Наземні радіолокаційні засоби виявлення повітряних цілей, розвідки, наведення та цілевказання. Тактико-технічні вимоги.

Маляренко Олександр Сергійович *– кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: a_mal@meta.ua ORCID https://orcid.org/0000-0003-3268-2803.*

Трофимов Іван Миколайович *– кандидат технічних наук, старший дослідник, професор кафедри тактики радіотехнічних військ, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: tininterpritor@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0001-7080-909X*

Maliarenko Oleksandr *– Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher of Air Force Science Center, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: a_mal@meta.ua ORCID https://orcid.org/0000-0003-3268-2803.*

Ivan Trofymov – *Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor of Department of Tactics of Radio Engineering Troops, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: tininterpritor@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0001-7080-909X*

УДК 681.5.015.23

Древенчук Р. В., Зубарева А. О., Бойко В. В.

СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПОЛЬОТОМ БПЛА НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Анотація: *у статті досліджено підходи до створення систем адаптивного управління польотом безпілотних літальних апаратів із використанням математичного моделювання. Наведено огляд сучасних методів опису динаміки польоту та способів побудови адаптивних алгоритмів керування, здатних компенсувати вплив змінних зовнішніх умов і конструктивних відхилень у роботі апарата. Доведено, що застосування математичних моделей на етапі розроблення систем управління підвищує точність стабілізації та стійкість до збурень, а також забезпечує можливість попереднього тестування алгоритмів у віртуальному середовищі. Отримані напрацювання можуть бути використані для створення інтегрованих систем навігації та керування майбутніх поколінь БПЛА.*

Ключові слова: *безпілотний літальний апарат, адаптивне управління, математичне моделювання, динаміка польоту, алгоритми керування, стійкість до збурень, віртуальне моделювання.*

Abstract: *the article presents an analysis of the design principles of adaptive flight control systems for unmanned aerial vehicles based on mathematical modeling. Modern approaches to flight dynamics representation and the synthesis of adaptive control algorithms capable of compensating for environmental uncertainties and structural variations of the controlled object are examined. It is demonstrated that the use of mathematical models in the control system design process enhances stabilization accuracy and robustness to disturbances, while also enabling preliminary validation of algorithms in a virtual environment. The obtained results can be applied in the development of integrated navigation and control systems for next-generation UAVs*

Keywords: *unmanned aerial vehicle, adaptive control, mathematical modeling, flight dynamics, robustness.*

Сучасний розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) зумовлює зростання вимог до точності, надійності та автономності їхніх систем управління. Традиційні алгоритми контролю, побудовані на основі фіксованих параметрів, не завжди здатні забезпечити стійкість польоту в умовах зовнішніх збурень, зміни масо-габаритних характеристик або зношування обладнання. У зв’язку з цим усе більшого поширення набувають системи адаптивного управління, що дозволяють автоматично змінювати параметри регулятора залежно від поточного стану об’єкта. Побудова таких систем спирається на використання математичного моделювання, яке забезпечує формалізоване представлення динаміки польоту та дозволяє досліджувати поведінку апарата у віртуальному середовищі до етапу практичної реалізації.

Математичні моделі БПЛА можуть бути лінійними або нелінійними залежно від складності об’єкта та умов експлуатації. Найпоширенішим підходом є використання рівнянь у просторах станів, які описують взаємозв’язок між положенням, швидкістю, кутовими координатами та керуючими сигналами. Для адаптивного управління важливо включати до моделі не тільки основні динамічні рівняння, але й можливі невизначеності, наприклад, зміну маси при витраті пального або вплив поривів вітру. На основі таких моделей здійснюється синтез алгоритмів, здатних оцінювати поточні параметри системи та підлаштовуватися під них у режимі реального часу.

Одним із найбільш поширених методів адаптивного управління є модельно-орієнтоване управління з ідентифікацією параметрів (Model Reference Adaptive Control, MRAC). У цьому підході задається бажана модель поведінки системи, а регулятор змінює свої коефіцієнти таким чином, щоб фактичний вихід БПЛА якомога точніше відповідав еталонному. Іншим підходом є

управління з підвищеною стійкістю до збурень, що передбачає синтез регуляторів, здатних ефективно функціонувати за широкого діапазону невизначеностей без потреби в їхній точній компенсації. Обидва методи активно застосовуються під час проєктування систем стабілізації висоти та орієнтації дронів.

Важливим етапом розробки адаптивної системи управління є попереднє тестування на основі комп'ютерного моделювання. За допомогою середовищ MATLAB/Simulink, Gazebo або Python-бібліотек можна створити цифровий двійник БПЛА та перевірити алгоритми в різних сценаріях польоту: при поривах вітру, відмові сенсорів або затримках у передаванні сигналів. Такий підхід дає змогу виявити потенційні проблеми без ризику пошкодження реального обладнання. Крім того, результати моделювання слугують підґрунтям для подальшого налаштування системи управління вже на етапі натурних випробувань.

Застосування адаптивного управління на основі математичного моделювання дозволяє значно підвищити ефективність роботи БПЛА. Зокрема, покращується точність стабілізації, зменшується час перехідних процесів, підвищується здатність системи працювати в умовах непередбачуваних змін зовнішнього середовища. У перспективі такі технології можуть стати основою для створення повністю автономних літальних систем, здатних приймати рішення без участі оператора.

Отже, математичне моделювання є ключовим інструментом у процесі розробки адаптивних систем управління польотом БПЛА. Воно забезпечує можливість попереднього аналізу динаміки польоту, синтезу алгоритмів управління та їхньої перевірки у віртуальному середовищі. Поєднання адаптивного управління з підходами, орієнтованими на стійкість до збурень, відкриває нові можливості для підвищення надійності безпілотних систем, що робить їх придатними для використання у військових, цивільних та промислових застосуваннях. Подальші дослідження мають бути спрямовані на створення інтегрованих систем управління, які поєднуватимуть алгоритми штучного інтелекту з класичними методами керування.

Список використаних джерел:

1. Астрьом К. Дж., Віттенмарк Б. Адаптивне керування. – Пер. з англ. – Київ: Наукова думка, 2010. – 576 с.
2. Беард Р. В., Мак-Лейн Т. В. Малі безпілотні літальні апарати: теорія і практика. – Пер. з англ. – Харків: Аерокосмічне видавництво, 2015. – 445 с.
3. Хавер Г. Основи теорії автоматичного керування. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 412 с.
4. Сіренко С. І., Коваленко В. В. Системи керування безпілотними літальними апаратами: моделювання та стабілізація // Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Приладобудування. – 2021. – № 64. – С. 45–52.
5. Бойко І. М. Математичне моделювання динаміки квадрокоптера в умовах збурень // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2020. – № 3(61). – С. 12–18.
6. Соколов А. П. Адаптивні алгоритми керування для авіаційних систем // Наукові вісті НАУ. – 2018. – Т. 21, № 2. – С. 25–31.Відомості про авторів:

Древенчук Роман Васильович – *Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, викладач кафедри №203, Харків, Україна; email: mailboy2009@gmail.com*

Зубарева Анастасія Олександрівна – *Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email: nastazubareva251@gmail.com*

Бойко Валерія Віталіївна – *Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email: eugenii4454039@gmail.com*

Zubareva Anastasiia Oleksandrivna *- Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, student of 262C training group, Kharkiv, Ukraine; email: nastazubareva251@gmail.com*

Boiko Valeriia Vitaliivna *- Kharkiv National Air Force University named afterI. Kozhedub, student of 262C training group, Kharkiv, Ukraine; email: eugenii4454039@gmail.com*

Drevenchuk Roman Vasylovych *– Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, lecturer, department No. 203, Kharkiv, Ukraine; email: mailboy2009@ gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0009-8935-0923*

УДК 656.13:355.40

Березенський Р. В., Обертас В. Ф.

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗБОРІЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Анотація. *Аналіз сучасного стану системи автотехнічного забезпечення Збройних сил України. Розглянуто її структуру, основні функції, завдання, проблеми експлуатації та відновлення військової автомобільної техніки (ВАТ) в умовах збройної агресії. Визначено основні фактори, що впливають на ефективність системи: зношеність парку ВАТ, нестачу запасних частин, недосконаліть нормативної бази, обмеженість фінансових ресурсів та потребу в модернізації управлінських процесів. Запропоновано напрями удосконалення системи автотехнічного забезпечення, зокрема впровадження систем моніторингу технічного стану, цифрової логістики та оптимізацію планів оновлення парку ВАТ.*

Ключові слова: *технічна готовність, ремонт, модернізація, військова автомобільна техніка, Збройні Сили України.*

Annotation. *Analysis of the current state of the automotive maintenance system of the Armed Forces of Ukraine. Its structure, main functions, tasks, problems of operation and restoration of military automotive equipment (MTA) in conditions of armed aggression are considered. The main factors affecting the effectiveness of the system are identified: wear and tear of the MTA fleet, lack of spare parts, imperfect regulatory framework, limited financial resources and the need to modernize management processes. Directions for improving the automotive maintenance system are proposed, in particular, the implementation of technical condition monitoring systems, digital logistics and optimization of MTA fleet renewal plans.*

Keywords: *technical readiness, repair, modernization, military automotive equipment, Armed Forces of Ukraine.*

Система автотехнічного забезпечення (АТЗ) Збройних Сил України (ЗСУ) є одним із ключових елементів логістичного забезпечення військ. Вона визначає рівень мобільності, стійкості та безперервності бойових дій. В умовах сучасної війни, що характеризується високою інтенсивністю операцій, швидкою зміною обстановки та великими втратами техніки, роль ВАТ значно зросла.

Однак тривала експлуатація автомобільної техніки, обмеженість ресурсів застарілих зразків та технологій управління призвели до зниження рівня технічної готовності парку. Тому дослідження сучасного стану та проблем функціонування системи АТЗ є актуальним для підвищення ефективності забезпечення військ у бойових умовах.

Система автотехнічного забезпечення ЗСУ охоплює сукупність органів управління, ремонтно-відновлювальних підрозділів, складів запасних частин, ремонтних майстерень, пунктів технічного обслуговування та евакуації техніки. На сьогодні близько 60–70 % ВАТ має вік понад 20 років, а значна частина перебуває у граничному стані ресурсу. Рівень технічної готовності парку ВАТ, за даними військових частин, коливається в межах 0,6–0,75.

Повномасштабна війна з російською федерацією у 2022–2025 роках виявила слабкі місця системи АТЗ:

- нерівномірність забезпечення запасними частинами;
- обмеженість ремонтних можливостей на передових напрямках бойових дій;
- нестача мобільних засобів евакуації пошкодженої техніки;
- значна частина автомобільної техніки, отриманої від партнерів, не уніфікована з наявними моделями.

1. Основні проблеми функціонування системи АТЗ

1.1. Зношеність та моральне старіння автомобільної техніки. Більшість автомобільного парку представлені застарілими моделями (ЗІЛ-131, ГАЗ-66, УРАЛ-375), для яких виробництво запчастин припинено. Це ускладнює їх ремонт та обслуговування, особливо в польових умовах.

1.2. Дефіцит запасних частин та ремонтних ресурсів. Через логістичні проблеми та обмеження фінансування спостерігається системна нестача вузлів та агрегатів. Потреба в запасних частинах для відновлення ВАТ перевищує можливості постачання на 30–40 %.

1.3. Недостатня цифровізація та координація. Облік ВАТ та планування її ремонту здебільшого ведеться вручну або у вигляді окремих локальних баз. Відсутність єдиної автоматизованої системи моніторингу технічного стану ВАТ знижує оперативність прийняття рішень.

1.4. Відсутність гнучкої системи оновлення парку ВАТ. Оновлення парку ВАТ здійснюється без урахування реального ресурсу та прогнозу оперативних (військових) потреб. Це призводить до нераціонального використання бюджетних коштів та дублювання закупівель.

2. Шляхи удосконалення системи автотехнічного забезпечення.

Для підвищення ефективності функціонування системи АТЗ доцільно реалізувати такі напрямки:

2.1 Впровадження системи моніторингу технічного стану автопарку. Використання сенсорів та баз даних для обліку пробігу, стану агрегатів, ресурсів та ремонтів у реальному часі за рахунок застосування сучасних технологій.

2.2 Модернізація ремонтно-відновлювальної бази. Оснащення ремонтних частин (підрозділів) новим обладнанням, створення спеціалізованих мобільних ремонтних підрозділів для відновлення ВАТ.

2.3 Оптимізація плану оновлення парку автомобільної техніки. Застосування методик багатокритеріальної оптимізації (АНР, аналіз життєвого циклу ВАТ), які враховують вартість, надійність, ресурси та оперативні потреби.

2.4 Уніфікація ВАТ та спрощення логістики. Перехід до обмеженої номенклатури базових моделей, що спрощує ремонт ВАТ, її облік та забезпечення.

2.5 Цифровізація управління АТЗ. Створення інтегрованої інформаційної системи управління технічним забезпеченням (єдиної бази даних, аналітики, прогнозів).

Висновки

Аналіз показав, що сучасна система автотехнічного забезпечення Збройних Сил України потребує глибокої модернізації та оптимізації. Основними проблемами залишаються висока зношеність ВАТ, обмеженість ресурсів, відсутність її уніфікованості та низький рівень цифрової підтримки. Реалізація запропонованих заходів дозволить підвищити коефіцієнт технічної готовності автопарку на 20–30 %, знизити експлуатаційні витрати на 15–20 %, а також зміцнити стійкість системи логістичного забезпечення військ у сучасних бойових умовах.

Список використаних джерел:

1. Бойко В. В., *Організація технічного забезпечення військ у сучасних умовах*. - Київ: НУОУ, 2022.
2. Автотехнічне забезпечення. Управління ресурсом і оновленням парку автомобілів: Навчальний посібник (*гриф Міністерства освіти і науки України*)/ Дем'янчук Б.О., Маханьков В.А., Обертас В.Ф. – Одеса: Військова академія (м. Одеса), 2016.
3. Гриценко О. М., *Методологічні засади управління військовою технікою в системі логістики*. - Харків: ХНУПС, 2023.
4. Кравченко С. П., *Оцінка технічного стану автомобільної техніки в умовах бойових дій*. - Житомир: ЖВІ, 2024.

Березенський Руслан Володимирович – кандидат технічних наук, начальник кафедри організації автотехнічного забезпечення Військової академії (м. Одеса), E-mail: Ruslan3438@gmail.com Orcid.org/0000-0002-1778-816X

Обертас Вячеслав Федорович – старший викладач кафедри організації автотехнічного забезпечення Військової академії (м. Одеса), E-mail: ober2007@ukr.net Orcid.org/0000-0002-3251-1476

Ruslan Berezensky– Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Organization of Automotive Technical Support of the Military Academy (Odessa) E-mail: Ruslan3438@gmail.com Orcid.org/0000-0002-1778-816X

Viacheslav Obertas– Senior Lecturer of the Department of Organization of Automotive Technical Support of the Military Academy (Odessa), E-mail: ober2007@ukr.net Orcid.org/0000-0002-3251-1476

УДК 629.374

Афанасьєв К. А., Василенко Р. В., Паращенко Т. В.

ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОРИСТАННЯ ТЕРМОЗБІЖНИХ ГІЛЬЗ ДЛЯ УСУНЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Анотація. *З метою швидкого та ефективного усунення різних видів пошкоджень авіаційного обладнання (АО) повітряних суден (ПС) державної авіації України постає потреба у розробці корисних рекомендацій щодо відновлення АО літаків у найкоротший термін.*

В основу продовження тривалості роботи систем електропостачання ПС, а особливо при веденні бойових дій для якісного відновлення дротів пропонується застосування термозбіжних гільз з припоєм, що мають значні переваги, завдяки дуже міцному з'єднанню припою, високу стійкість до вібрацій і механічних навантажень, а також забезпечення герметичності та додаткової ізоляції.

Ключові слова: *повітряне судно, авіаційне обладнання, система електропостачання, ізоляційна стрічка, термозбіжна трубка, ізолююча стрічка, термозбіжна гільза з припоєм.*

Annotation*. In order to quickly and effectively repair various types of damage to aviation equipment on Ukrainian state aircraft, there is a need to develop useful recommendations for restoring aircraft equipment in the shortest possible time.*

To extend the service life of aircraft power supply systems, especially during combat operations, it is proposed to use heat-shrinkable sleeves with solder for high-quality wire repair. These sleeves have significant advantages due to their very strong solder connection, high resistance to vibration and mechanical stress, as well as ensuring tightness and additional insulation.

Keywords: *aircraft, aviation equipment, power supply system, insulating tape, heat-shrinkable tubing, insulating tape, heat-shrinkable sleeve with solder.*

Технічна експлуатація ПС повинна забезпечувати працездатність, справність і своєчасну бойову готовність літаків під час ведення бойових дій, що є найголовнішим аспектом в експлуатації авіаційної техніки. Під час експлуатації АО при веденні бойових дій, на нього впливають різні фактори: механічні, кліматичні, температурні, хімічні та інші. Це все спостерігається, як при звичайній експлуатації повітряних суден, так і під час пошкоджень унаслідок впливу ударів від боєприпасів [1].

Визначення напрямків підвищення ефективності процесу відновлювальних робіт для усунення пошкоджень ПС під час ведення бойових дій є головною задачею керівного інженерно-технічного складу авіаційних частин.

В ході ведення бойових дій на ПС мають місце такі бойові пошкодження:

1. Ураження елементів корпусу та конструкцій;
2. Пошкодження двигунів, шасі;
3. Пошкодження системи озброєння;
4. Виведення з ладу авіаційного та радіоелектронного обладнання.

Усі ці пошкодження можуть бути спричинені зенітним ракетним вогнем, авіаційним протистоянням, а також влучанням дронів. Найчастіше пошкодження виявляються у системі електроживлення, зокрема на лініях подачі струму, кабелях, дротах.

Для усунення пошкоджень ліній електроживлення серед різноманітності ізоляційних матеріалів, пропонується застосування термозбіжних гільз, які використовуються для відновлення та ремонту кабельних мереж. Термозбіжна гільза з припоєм була спроєктована для надійного з'єднання дротів, що забезпечує високу надійність та захист електричних з'єднань [2]. Завдяки спрощенню процесу паяння, ця гільза ідеально підходить для відновлення дротів. Захисний клас IP67 гарантує збереження з'єднання навіть при зануренні у воду. Використання низькотемпературного припою забезпечує міцність з'єднання без потреби використання паяльника.

Також термозбіжна гільза є ідеальним рішенням для з'єднання контактів, які піддаються тривалому впливу зовнішнього вологого середовища. Процес установки гільзи включає нагрівання, усадку оболонки та плавлення олов’яного припою, що з'єднує кінці провідників. Додатковий захист забезпечують клейові кільця, які герметизують місце спайки. Варто

зауважити, що гільза не підходить для з’єднання алюмінієвих провідників. Для монтажу з’єднання потрібний лише нагрівач (електрофен, газовий пальник), здатний прогріти з'єднання до 160 °С.

За призначенням термозбіжні гільзи з припоєм використовуються для з'єднання та ізоляції кабельних або дротових з'єднань у електротехніці та електроніці. Основні етапи використання термозбіжних гільз з припоєм включають три етапи технології використання:

1. Підготовка:

а) виявлення пошкоджень: проводиться огляд кожного дроту для виявлення будь-яких пошкоджень, таких як тріщини, загнуті або вигнуті частини. Якщо виявлені пошкодження, вони повинні бути усунені перед тим, як продовжувати процес установки гільзи;

б) очищення дротів: після видалення пошкодженої ізоляції необхідно очистити поверхню дротів від бруду, жиру або інших забруднень, що можуть стати перешкодою для надійного з'єднання. Для цього можна використовувати спеціальні засоби для очищення або просто протерти дріт м'якою ганчіркою.

2. Вибір гільзи:

а) вимір дроту по типу гільзи: необхідно виміряти діаметр кожного дроту, які з'єднуються. Вимір діаметру дротів допоможе визначити, який розмір термозбіжної гільзи потрібно вибрати для кожного дроту;

б) вибір гільзи, враховуючи температурні умови: потрібно вибрати тип гільзи, який відповідає допустимому термічному режиму на місці з'єднання дротів.

3. Установка гільзи:

а) рівномірне розміщення гільзи на дроті перед процесом припою;

б) нагрівання: використання теплового впливу для плавлення припою всередині гільзи, щоб забезпечити з'єднання з дротом;

в) стиснення: примусове стиснення гільзи навколо дроту для створення міцного з'єднання.

4. Охолодження та закріплення: після стиснення гільзу залишають охолоджуватися для закріплення структури та створення міцного з'єднання.

Таким чином використання термозбіжних гільз з припоєм спростить процес ремонтних робіт системи електропостачання на ПС.

В умовах бойових дій, для якісного відновлення дротів, доцільно використовувати термозбіжні гільзи з припоєм.

Щоб оцінити ефективність використання, необхідно детально розібрати компоненти для відновлювальних робіт дротів та проаналізувати ефективність існуючих матеріалів та порівняти їх між термозбіжними гільзами з припоєм.

На сьогодні для відновлювальних робіт електричних систем найчастіше використовують ізолюючу стрічку, термозбіжні трубки при усуненні пошкоджень дротових з’єднань.

Були проаналізовані ізоляційні матеріали відповідно наступним критеріям:

1. Надійність (опис матеріалу оцінювання, наскільки компоненти забезпечують надійність з'єднань і витримують довгострокове використання без втрати якості).

2. Швидкість процесу установки (оцінка швидкості та легкості установки компонентів також має значення, оскільки це може впливати на час необхідний для виконання робіт).

3. Витривалість матеріалів при експлуатації (оцінювання, як компоненти витримують знос під час експлуатації).

4. Витрати (на інструменти та матеріали – витрати на інструменти та матеріали може вплинути на ефективність виконання робіт).

5. Ефективність в умовах вологості та температурних змін (оцінка того, наскільки добре компоненти подразливі до температурних змін включаючи вологість та температурні зміни).

Кінцеві оцінки згідно аналізу матеріалів були розраховані за п’ятибальною системою. Для вирахування надійності також проаналізовані хімічний склад кожного типу ізолюючого матеріалу і визначили, що у припою гільзи використовується м'яка пайка для кріплення дротів, яка складається з легкоплавкого припою із сплаву олова на 97% та міді на 3%. Ця пайка починає деформуватися під впливом температури від 250°С, що забезпечує міцний зв'язок навіть після того, як оболонка зруйнується під впливом високої температури [3]. З часом

розкладається з утворенням поперечних міжланцюгових зв'язків, що спричиняє підвищення крихкості та невелике збільшення міцності. Також, відзначається термостарінням, що проходить за радикальним механізмом, супроводжується виділенням альдегідів, кетонів, перекису водню та інших продуктів.

В підсумку термозбіжна гільза забезпечує дуже надійне з'єднання, яке витримує механічні навантаження та температурні коливання, вона активується теплом і створює міцний зв'язок між дротами. Кінцева оцінка: 5/5.

В оболонку термозбіжної трубки входить поліолефін. Сам поліолефін є продуктом полімеризації олефінів, що характеризує його відмінну стійкістю до вологи і корозії, доброю стійкістю до зносу та агресивних середовищ, а також вони мають малу вагу та невелику температурну провідність [4].

До основних переваг термозбіжних гільз з припоєм відноситься дуже міцне з'єднання завдяки припою, висока стійкість до вібрацій і механічних навантажень, забезпечення герметичності та додаткова ізоляція. Усе ці переваги вимагають точного дотримання технології встановлення, вищі початкові витрати на матеріали і інструменти. Це робить їх ефективним вибором для важких умов роботи та довгострокових застосувань, де вимагається висока якість з'єднання.

Термозбіжні гільзи з припоєм є ефективним рішенням для відновлення дротів та кабельних мереж на пошкодженій системі електропостачання ПС. Вони забезпечують надійне, захищене та водостійке електричне з'єднання, здатне витримувати зовнішні впливи.

Загалом, термозбіжні гільзи з припоєм можуть бути рекомендовані як високо ефективне рішення для відновлення пошкоджених систем електропостачання ПС. Їхнє застосування має потенціал суттєво покращити безпеку та експлуатаційну надійність ПС.

Список використаних джерел:

1. Основи організації експлуатації і ремонту озброєння та військової техніки / за ред. Мацько О.Й. Київ : НУОУ, 2018. 400 с.

2. Водонепроникновий компонент, термозбіжна паяльний гільза [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://hampool.en.made-in-china.com/product/JdsaRtrVapko/China-Hampool-Good-Quality-Waterproof-Wire-Automotive-Heat-Shrink-Solder-Sleeve.html.

3. Термозбіжна гільза з припоєм [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://images.prom.ua/5462309644_w0_h430_termozbizhna-gilza-z.jpg pripoem.html.

4. Ізоляція кабелів та проводів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://europan.ua/news/insulation-cables-and-wires-variety.

Афанасьєв Кирило Андрійович *– слухач інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: afanasev.kirill.02@gmail.com*

Василенко Роман Вікторович *– старший викладач кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, email: spike75.rv@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001-7683-7526*

Паращенко Тимур Васильович *– доктор філософії, провідний науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, інд. 18050, email: Liberian2009@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001-9908-4408*

Roman Viktorovich Vasylenko *– senior lecturer, Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, email: spike75.rv@gmail.com,, ORCID https://orcid.org/0000-0001-7683-7526*

Afanasiev Kyrylo Andriiovych *student from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: afanasev.kirill.02@gmail.com*

Timur Vasilyovich Parashchenko *– Doctor of Philosophy, leading scientific scientist at the State Scientific Research Institute for Testing and Certification of New and Modern Technology, Cherkassy, email: Liberian2009@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9908-4408*

УДК 629.7.069

Козир А. В., Василіаді М. О., Георгієв Ю. В.

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ ДАТЧИКІВ ПЕРВИННОЇ ІНФОРМАЦІЇ КОМПЛЕКСУ ВИСОТНО-ШВИДКІСНИХ ПАРАМЕТІВ

Анотація: *в даній тезі розглянуто актуальні проблеми експлуатації та ремонту датчиків первинної інформації комплексу висотно-швидкісних параметрів. Проаналізовано конструктивні особливості та принцип роботи аерометричних датчиків тиску, їх недоліки та фактори, що впливають на точність вимірювань. Запропоновано використання мембранних датчиків з оптичними елементами, які забезпечують підвищену чутливість, надійність та швидкодію системи вимірювання повного і статичного тиску.*

Abstract: *this thesis considers current issues related to the operation and maintenance of primary information sensors in the altitude–speed parameter complex. The structural features and operating principles of aerometric pressure sensors are analyzed, along with their drawbacks and factors affecting measurement accuracy. The use of membrane sensors with optical elements is proposed, as they provide improved sensitivity, reliability, and response speed for measuring total and static pressure..*

Ключові слова: *датчик тиску, аерометричні параметри, висотно-швидкісний комплекс, оптичний елемент, точність вимірювань, надійність, авіаційне обладнання.*

Keywords: *pressure sensor, aerometric parameters, altitude–speed complex, optical element, measurement accuracy, reliability, aviation equipment.*

Сучасна військова авіація вимагає постійного вдосконалення та модернізації бортового обладнання для забезпечення максимальної ефективності та надійності в бойових умовах. Однією з ключових систем, що визначає ефективність літака, є інформаційний комплекс висотно-швидкісних параметрів.

На поточному етапі розвитку авіоніки визначення повітряних параметрів вимагає ще більшого вдосконалення, що підвищить точність та надійність роботи інформаційних комплексів висотно-швидкісних параметрів.

Для сприйняття СПС повного Рп та статичного Рст тисків, використовують датчики тиску. Вони перетворюють Рп та Рст в електричні сигнали, які з метою обчислення параметрів руху повітряного судна поступають у обчислювач СПС [4].

Датчики тиску – це ДПІ для системи повітряних сигналів. Функціями статичного тиску і повного тиску є параметри руху. Більшість метрологічних і технологічних характеристик системи повітряних сигналів визначають датчики тисків.
Це такі характеристики:
- точність;
- надійність;
- довговічність;
- діапазони вимірювання;
- габаритні розміри;
- якість вихідної інформації системи;
- зручність обслуговування.

Чутливим елементом датчика виступає тонкостінний циліндричний резонатор , що жорстко закріплений на корпусі. Зовнішній простір резонатора в корпусі приладу є вакуумним. При надходженні тиску (статичного чи повного) у внутрішню камеру резонатора його жорсткість змінюється, отже, змінюється і частота його власних коливань як пружної системи. Коливання циліндра викликаються і підтримуються за допомогою системи, яка складається з двох ортогональних електромагнітних котушок - для збудження і отримання зворотного зв'язку , підсилювача і обмежувального підсилювача. Загалом така система є автогенератором, що працює на частоті коливань циліндричного резонатора.

Вихідний сигнал датчика представляє послідовність прямокутних імпульсів позитивної полярності. Вони формуються у відповідному пристрої датчика за сигналом з автогенератора. Частота

послідовності імпульсів, яка відрізняється від частоти коливань резонатора, є інформаційним параметром вихідного сигналу датчика.
Залежність між частотою коливань циліндра і тиском всередині нього має нелінійний характер. Вона близька до вигляду:

$$p \simeq 1/K_p \ [(f/f_0)\hat{}2-1]$$

де p – тиск, що надходить у внутрішню порожнину резонатора;
f – частота коливань циліндра;
f0 – власна частота коливань резонатора при p = 0 (для датчиків типу ДДГ f_0≃4500 "Гц");
Кр – коефіцієнт жорсткості циліндричного резонатору, що залежить від тиску p

Температурні похибки датчиків компенсуються алгоритмічно у обчислювачах СПС за допомогою математичних моделей цих похибок.

Для цього в кожному датчику вимірюється температура резонатора за допомогою термодіода VD. Сигнал температури резонатора формується за допомогою місткової схеми узгоджуючого пристрою. Він видається напругою U(T) постійного струму в діапазоні від 0 до 9 В при зміні температури від +80° до – 60 °С.

Необхідна точність обчислення тиску досягається за допомогою апроксимації функціональних залежностей поліномами п'ятого ступеня:

$$p = K_0 + K_1 f + K_2 f^2 + K_3 f^3 + K_4 f^4 + K_5 f^5$$

Їх коефіцієнти Кі коригуються за сигналами U(T) залежно від температури датчиків.

$$i = 0,\ldots,5.\ K_i = a_{i0} + a_{i1} T + a_{i2} T, \text{ де } i = 0,\ldots,5.$$

Коефіцієнти розраховуються для кожного датчика на основі його індивідуального калібрування. Вони записуються в пам'ять обчислювача. За допомогою даного алгоритму обчислюються повний та статичний тиски. Аерометричний метод вимірювання висотно-швидкісних параметрів польоту літака, полягає у сприйнятті повного, статичного тиску, а також температури загальмованого потоку та перетворення їх у цифровий код для подальшого обчислення зазначених параметрів.
Робота аерометричних датчиків тисків здійснюється при дії різних дестабілізуючих факторів: коливань температури та живильної напруги, вібрації, прискорення та інших, тому не всі типи датчиків у зазначених умовах придатні для експлуатації.

Відомо, що вважалися перспективними тонко плівкові датчики тиску не набули широкого поширення в авіації через значні температурні похибки, що виникають в результаті впливу як стаціонарних, так і нестаціонарних теплових полів.
Істотними недоліками найбільш поширених в даний час частотних перетворювачів тиску є: висока залежність від стабільності частоти напруги живлення і чутливість до механічних вібрацій; поява температурних похибок датчика та відносно великі енергетичні витрати, спричинені наявністю спеціального електромагнітного збудника коливань; постійний догляд метрологічних характеристик пружного елемента, що визначаються великою кількістю коливань.

Запропонована методика проектування пружних чутливих елементів датчика аерометричних тисків враховує функціональні можливості оптичного вторинного перетворювача і закономірність зміни параметра, що вимірюється, а також системи обчислення вихідних параметрів оптичного датчика за критерієм максимальної швидкодії.

Методика проектування пружних чутливих елементів датчика аерометричних тисків враховує функціональні можливості оптичного вторинного перетворювача і закономірність зміни параметра, що вимірюється, а також системи обчислення вихідних параметрів оптичного датчика за критерієм максимальної швидкодії.

Запропоновано у якості датчика аерометричних тисків використовувати мембранні датчики з оптичними елементами, на виході яких будуть формуватися цифрові сигнали пропорційні повному та статичному тиску відповідно. Зазначені датчики є більш чутливими та надійними.

Список використаних джерел:

1. Бойовий досвід застосування військових частин та підрозділів родів військ ПС ЗС України (збір. мат. за результатами участі ПС ЗС України в ході АТО на сході України): збірник матеріалів. / С. С. Дроздов, В. В. Коваль, О. С. Котляр та ін.; під заг. кер. Ю. А. Байдака. – Вінниця: Командування ПС ЗС України, 2015.

2. Авіаційне обладнання Су-27 : навч. посіб. / Р. В. Василенко, Т. В., Паращенко, В. М. Кривонос, О. М. Шелякін, Ю. В. Георгієв, Г. Б. Ейдельштейн – Х. : ХНУПС, 2023.

3. Зарубін А.М. Аерометричні прилади та системи: навч. посіб./ А.М. Зарубін. – Х.: ХУПС, 2013. – 66с.

4. Авіоніка: навч. посіб. / В.П. Харченко, І.В. Остроумов. – К. : НАУ, 2013. – 272 с.

Козир Анастасія Володимирівна *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email: kozyranastasia27@gmail.com;*

Василіаді Максим Олександрович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email: maksim.vasiliadi1999@gmail.com;*

Георгієв Юрій Вікторович *– Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966.*

Kozyr Anastasia Volodymyrivna *– Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, student of 262C training group, Kharkiv, Ukraine; email: kozyranastasia27@gmail.com;*

Vasiliadi Maksym Oleksandrovych *– Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, student of 262C training group, Kharkiv, Ukraine; email: maksim.vasiliadi1999@gmail.com*

Yuriy Viktorovych Georgiev *– Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, senior lecturer, department No. 203, Kharkiv, Ukraine; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966.*

УДК 629.735.083.3

Василенко Е. К., Осипова А. І., Васіліаді М. О.

ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ HUMS (HEALTH AND USAGE MONITORING SYSTEM) ТА АДАПТИВНИХ СИСТЕМ ІНДИКАЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація. *У роботі розглянуто підхід до підвищення ефективності технічної експлуатації авіаційної техніки шляхом інтеграції систем HUMS (Health and Usage Monitoring System) з адаптивними системами індикації екіпажу. Запропоновано архітектуру інформаційно-діагностичного комплексу, що забезпечує моніторинг параметрів у реальному часі, прогнозування відмов і автоматичну зміну режимів індикації. Результати моделювання підтверджують зменшення часу виявлення дефектів і підвищення точності діагностики.*

Ключові слова: *авіаційна техніка, адаптивна індикація, діагностування, прогнозування відмов, технічний стан.*

Abstract. *The article discusses an approach to improving the efficiency of technical operation of aviation equipment by integrating HUMS (Health and Usage Monitoring System) with adaptive crew indication systems. The architecture of an information and diagnostic complex is proposed, which provides real-time monitoring of parameters, failure prediction and automatic change of indication modes. The simulation results confirm a reduction in defect detection time and an increase in diagnostic accuracy.*

Keywords: *aviation technology, adaptive indication, diagnostics, failure prediction, technical condition.*

Вступ

Підвищення надійності та безпеки польотів авіаційної техніки потребує переходу від регламентного до станового технічного обслуговування. Основою цього підходу є системи HUMS (Health and Usage Monitoring System), що забезпечують безперервний контроль параметрів агрегатів і вузлів у реальному часі. Їх інтеграція з адаптивними системами індикації дозволяє оперативно відображати стан технічних систем екіпажу, автоматизувати виявлення відхилень і своєчасно реагувати на ознаки відмов.

Результати дослідження

З метою підвищення безвідмовності, своєчасності діагностування та прогнозування технічного стану літальних апаратів (ЛА) запропоновано концепцію інтеграції систем HUMS (Health and Usage Monitoring System) з адаптивними системами індикації та бортової діагностики [1–3].

Традиційно контроль справності здійснюється за результатами періодичного технічного огляду або за показниками вбудованих систем контролю, які не забезпечують виявлення повільно розвиваючихся дефектів чи короткочасних відхилень параметрів, що не фіксуються звичайними засобами індикації [4].

Системи HUMS дозволяють перейти від планово-регламентного до прогностичного технічного обслуговування, забезпечуючи безперервний моніторинг навантажень, температур, вібрацій і механічних коливань важливих вузлів силової установки, трансмісії, гідросистем, елементів планера та інших агрегатів ЛА.

Наукова ідея полягає у створенні єдиного інформаційно-діагностичного середовища, у якому всі підсистеми ЛА, від сенсорів HUMS до адаптивних індикаторів кабіни, об’єднуються спільною цифровою архітектурою. Така інтеграція забезпечує динамічне оновлення діагностичних даних і автоматичне формування попереджувальних сигналів для екіпажу та наземного персоналу залежно від ступеня небезпеки або прогнозованої відмови.

У результаті створюється замкнутий контур управління технічним станом, який об’єднує процеси вимірювання, аналізу, прогнозування та візуалізації. Це дозволяє підвищити оперативність реагування на зміну стану систем ЛА, зменшити ризик відмов у польоті та оптимізувати планування технічного обслуговування.

Запропонована архітектура системи моніторингу технічного стану ЛА ґрунтується на принципах модульності, розподіленої обробки даних та інтеграції з системами індикації екіпажу. У загальному вигляді інтегрована система HUMS складається з чотирьох основних функціональних підсистем:

– DAS (Data Acquisition Subsystem) – підсистема збору первинних даних;

– CPU (Central Processing Unit) – центральний обчислювальний модуль із функціями обробки, аналізу та прогнозування;

– ADS (Adaptive Display Subsystem) – адаптивна підсистема відображення інформації;

– GSS (Ground Support Station) – наземна станція технічного аналізу та обміну даними.

Підсистема збору даних (DAS) формує первинний інформаційний потік за рахунок даних від сенсорів вібрації, температури, тиску, крутного моменту, навантажень на елементи конструкції, параметрів паливної та мастильної систем.

Кожен датчик формує часовий ряд $x_i(t)$, який перетворюється в цифрову форму та передається у CPU через концентратор даних RDC (Remote Data Concentrator).

Передавання здійснюється з частотою оновлення $f_c = 10...100\ Гц$ по каналах ARINC-429 або Ethernet AFDX, що забезпечує синхронну обробку в режимі реального часу.

Центральний обчислювальний модуль (CPU) є ядром системи HUMS і виконує такі функції:

– фільтрація та нормалізація сигналів за допомогою цифрових фільтрів Калмана чи Буттерворта [5];

– виявлення аномалій за статистичним критерієм:

$$\Delta x_i = \left| x_i(t) - \bar{x}_{i0} \right| > k\sigma_i, \tag{1}$$

де $\bar{x}_{i0}$ – номінальне значення параметра;

σ_i – середньоквадратичне відхилення;

$k = 2...3$ – коефіцієнт достовірності;

– класифікація станів агрегатів за трьома рівнями небезпеки (норма – попередження – відмова);

– прогнозування залишкового ресурсу на основі регресійної моделі деградації:

$$R_i(t) = R_{i0} - \int_0^t \beta_i(\tau)\, d\tau, \tag{2}$$

де $\beta_i(\tau)$ – інтенсивність деградації i-го елемента.

Результати аналізу CPU формує у вигляді інтегрального показника технічного стану:

$$K_{\text{тех.ст.}} = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{x_i(t) - x_{i0}}{x_{i0}} \right|, \tag{3}$$

який передається в ADS для відображення екіпажу.

Адаптивна підсистема індикації (ADS) реалізує принцип ситуаційної адаптації візуальної інформації.

Параметри індикації автоматично змінюються залежно від рівня технічного ризику:

$$K_{\text{тех.ст.}} = \begin{cases} (0,9;1,0] & – \text{справний стан} \left(\text{зелений індикатор}\right); \\ (0,8;0,9] & – \text{стан передвідмовний} \left(\text{жовтий індикатор}\right); \\ [0;0,8] & – \text{стан відмовний} \left(\text{червоний індикатор}\right). \end{cases}$$

Система здійснює автоматичне регулювання яскравості індикаторів залежно від зовнішньої освітленості (день/ніч) та пріоритизацію повідомлень відповідно до стану агрегату.

Крім того, передбачено візуально-звукове дублювання для зменшення ймовірності пропуску сигналу екіпажем у стресових ситуаціях.

Наземна станція технічного аналізу (GSS) виконує постобробку даних HUMS після завершення польоту.

Дані передаються через блок DTU (Data Transfer Unit) на сервер, де формуються:

– графіки трендів вібраційних спектрів;

– карти теплових полів агрегатів;

– прогнози ресурсу елементів за моделлю деградації $R_i(t)$;

– рекомендації щодо планування технічного обслуговування.

Таким чином, GSS забезпечує зворотний зв'язок між екіпажем і технічною службою, формуючи замкнутий цикл управління технічним станом: "реєстрація – аналіз – прогноз – вплив".

Інформаційна структура інтегрованої системи HUMS може бути подана у вигляді потокової моделі обміну даними:

$$\text{DAS} \xrightarrow[f_c]{\text{потік даних}} \text{CPU} \xrightarrow[\Delta x_i,\, K_{\text{тех.ст.}}]{\text{діагностичні параметри}} \text{ADS} \xrightarrow[\text{сигнали, індикація}]{\text{попередження}} \text{Екіпаж} \xrightarrow[\text{журнал тех. обслушовування}]{\text{зворотний зв'язок}} \text{GSS}$$

Середній обсяг даних, що передається за один політ тривалістю 90 хвилин, становить приблизно 2,5 – 3,0 Гб, з яких 70 % припадає на сирі вібраційні сигнали, 20 % – на термометрію, і 10 % – на обчислені діагностичні індикатори.

Для підвищення достовірності діагностики використовується прогностичний фільтр Калмана, що забезпечує згладжування шумів і прогнозування розвитку параметрів у часі.

Система рівнянь фільтра має вигляд:

$$\begin{aligned} \hat{x}_{k|k-1} &= A \cdot \hat{x}_{k-1|k-1} + B \cdot u_{k-1}, \\ K_k &= P_{k|k-1} \cdot H^T \left(H \cdot P_{k|k-1} \cdot H^T + R \right)^{-1}, \\ \hat{x}_{k|k} &= \hat{x}_{k|k-1} + K_k \left(z_k - H \cdot \hat{x}_{k|k-1} \right), \end{aligned} \tag{4}$$

де $\hat{x}_{k|k-1}$ – прогнозоване значення параметра;

A, B, H – матриці динаміки системи;

K_k – коефіцієнт посилення Калмана;

P – коваріаційна матриця похибок;

R – дисперсія шумів вимірювань;

z_k – вектор спостережень.

Застосування такого прогнозного фільтра дозволяє виявляти тренди деградації на ранніх етапах та оцінювати очікуваний момент виходу параметра за допустимі межі.

Згідно з результатами моделювання, інтеграція HUMS з фільтрацією Калмана дозволяє зменшити похибку діагностики вібраційних відхилень до 8 – 10 % порівняно з базовим алгоритмом порогового контролю, а також прогнозувати наближення до відмови агрегату за 2 – 3 польотних цикли наперед.

Для прикладу, на вертольоті типу Мі-8МТ контроль редуктора за параметром вібраційного прискорення $a(t)$ показав, що при наближенні до критичного порогу $a_{кр} = 1,5g$ система HUMS виявляє перевищення на 28 % раніше, ніж традиційна схема контролю.

Висновки

Отже, запропонована інтегрована система HUMS для авіаційної техніки забезпечує замкнутий цикл управління технічним станом на всіх етапах експлуатації – від збору первинних параметрів до формування діагностичних рекомендацій і відображення інформації екіпажу. Реалізація алгоритмів прогнозування на основі фільтра Калмана та адаптивної візуалізації технічного стану дозволяє своєчасно виявляти тенденції деградації агрегатів, що зменшує ймовірність відмов приблизно на 20 – 25 % і підвищує точність локалізації несправностей приблизно до 85 – 90 %.

Це створює підґрунтя для переходу Повітряних Сил Збройних Сил України від планово-регламентної до прогностичної системи технічного обслуговування, що відповідає сучасним тенденціям розвитку авіаційної техніки країн НАТО.

Список використаних джерел:

1. Turjo I., Lipsett M. Retrofitting Health and Usage Monitoring Systems (HUMS) for Unmanned Aerial Vehicles. *IEEE Aerospace Conference*, 2023. DOI: 10.1109/AERO55745.2023.10116012.
2. Камак Ю.О.. Аналіз методів та інструментів моніторингу технічного стану і безвідмовності безпілотних авіаційних комплексів. Випробування та сертифікація. 2025. №. 4(6). С. 79–89. URL: https://doi.org/10.37701/ts.06.2024.10.
3. Колейникова Я.В., Ергалиев Д.С. Системы мониторинга состояния узлов и агрегатов (HUMS) на вертолетах Airbus Helicopters. *Международный научный журнал "ВЕСТНИК НАУКИ"*. 2025. № 3 (84) Том 5. С. 474–482. *URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-monitoringa-sostoyaniya-uzlov-i-agregatov-hums-na-vertoletah-airbus-helicopters*
4. Наказ Міністерства оборони України від 05.07.2016 № 343 "Про затвердження Правил інженерно-авіаційного забезпечення державної авіації України". URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1101-16.
5. Butterworth S. On the Theory of Filter Amplifiers. Wireless Engineer, 1930, Vol. 7, P. 536–541.

Василенко Емма Костянтинівна – курсант магістратури інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, e-mail: konstantinovna0097@gmail.com. https://orcid.org/0009-0002-8163-4349.

Осипова Анастасія Іванівна – курсант магістратури інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, e-mail: osypovanasta861@gmail.com. https://orcid.org/0009-0006-7922-1069.

Василіаді Максим Олександрович – курсант магістратури інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, e-mail: maksim.vasiliadi1999@gmail.com. https://orcid.org/0009-0004-8944-7745.

Vasylenko Emma Kostiantynivna – postgraduate cadet of the Faculty of Engineering and Aviation of the Air Defense Forces of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: konstantinovna0097@gmail.com. https://orcid.org/0009-0002-8163-4349.

Osypova Anastasiia Ivanivna – postgraduate cadet of the Faculty of Engineering and Aviation of the Air Defense Forces of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: osypovanasta861@gmail.com. https://orcid.org/0009-0006-7922-1069.

Vasiliadi Maksym Oleksandrovych – postgraduate cadet of the Faculty of Engineering and Aviation of the Air Defense Forces of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: maksim.vasiliadi1999@gmail.com. https://orcid.org/0009-0004-8944-7745.

УДК 629.7.069

Василіаді М. О., Козир А. В., Георгієв Ю. В.

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ У СКЛАДІ БОРТОВОГО КОМПЛЕКСУ ВЕРТОЛЬОТУ МИ-8 МТ

Анотація: *в даній тезі розглянуто систему HUMS для моніторингу технічного стану вертольотів. Її впровадження дозволяє підвищити безпеку польотів, зменшити витрати на обслуговування та збільшити ресурс агрегатів. Особливу увагу приділено можливості встановлення системи на вертоліт Ми-8МТ.*

Ключові слова: *HUMS, вертоліт, Ми-8МТ, моніторинг, діагностика, безпека польотів, технічне обслуговування.*

Abstract: *this thesis considers the HUMS system for monitoring the technical condition of helicopters. Its implementation allows to increase flight safety, reduce maintenance costs and increase the resource of units. Special attention is paid to the possibility of installing the system on the Mi-8MT helicopter.*

Keywords: *HUMS, helicopter, Mi-8MT, monitoring, diagnostics, flightsafety, maintenance.*

Вертоліт серії Мі був розроблений в СРСР. було випущено понад 11 000 екземплярів, що зробило його одним з найпопулярніших вертольотів, коли-небудь розроблених. Модель еволюціонувала від Мі-8 до Мі-171. Вертольоти серії Мі експлуатуються у понад 80 країнах світу.

На сьогоднішній день лише невелика кількість систем моніторингу, пристосованих для комерційного або військового використання, встановлена на старих вертольотах серії Мі, а моделі, які зараз виробляються, не оснащені системами авіоніки, такими як автоматизовані системи моніторингу. Однак оператори і власники вертольотів серії Мі були зацікавлені в отриманні надійної системи моніторингу технічного стану найважливіших систем і компонентів (двигун, редуктор, лопаті, загальновертолітних) і системи збору достовірних польотних даних. Інтерес до цього напрямку був великий. Ці системи були розроблені для підвищення безпеки польотів та оптимізації технічного обслуговування вертольотів.

Система Foresight MX GPMS збирає дані наступним чином. На борту блок управління аналізує стан 37 валів, 37 шестерень і 50 підшипників в двигуні і трансмісії, а також збирає дані про більш ніж 42 параметри польоту Мі-8/17 з бортового обладнання. Foresight автоматично і бездротово завантажує і обробляє цю інформацію. Потім оператор може отримати доступ до додатку Foresight MX, щоб переглянути інформацію з будь-якого пристрою і прийняти рішення для оптимізації роботи машини.

Перший вертоліт Мі-8/17, що належить Україні та оснащений системою Foresight MX, мав бути переданий гуманітарній місії ООН в Африці на початку 2022 року, але це не відбулося і за подій 24 лютого 2022 року.

Вертольоти часто експлуатуються у складних та різноманітних умовах, що підвищує ризик виникнення несправностей. Зі зростанням кількості вертольотів та інтенсивності їх використання, питання підвищення надійності та безпеки польотів стало особливо актуальним.

Традиційні методи обслуговування, засновані на планово-попереджувальних ремонтах, не завжди дозволяють виявити потенційні проблеми на ранніх стадіях. Це підтверджується рядом катастроф, які сталися через несправності головного редуктора, які можна було б запобігти за наявності ефективної системи моніторингу.

Саме ці трагічні події стали поштовхом до розробки системи HUMS (HealthandUsageMonitoringSystems). HUMS – це комплексна система, що складається з датчиків, комп'ютерів, програмного забезпечення та аналітичних методів, які дозволяють моніторити технічний стан та експлуатаційні параметри вертольота в режимі реального часу.

Перші системи HUMS, розроблені компаніями Teledyne/StewardHughes та Marconi/BristowHelicopters, виконували такі функції:

– Моніторинг стану редуктора та трансмісії
– Моніторинг ресурсу та експлуатаційних характеристик двигуна
– Контроль положення лопатей та дисбалансу гвинта
– Реєстрація польотних даних (FDR)
– Запис переговорів у кабіні екіпажу (CVR)

HUMS складається з бортової та наземної частин. Наземна станція забезпечує:

– Обмін даними з бортовою системою
– Взаємодію з пілотом
– Підтримку технічного обслуговування
– Облік ресурсу деталей
– Аналіз та збереження даних

Основні блоки ситеми мають наступні назви:
Mainprocessingunit (MPU) – Головний обчислювач;
Datatransferunit (DTU) – Блок передачі даних;
Controldisplayunit (CDU) – Контрольний дисплей;
Remotedataconcentrator (RDC) – Віддалений концентратор даних (накопичувач інформації).

Впровадження HUMS дозволяє перейти від планово-попереджувального обслуговування до обслуговування за технічним станом, що значно підвищує безпеку та ефективність експлуатації вертольотів.

IMD HUMS автоматично контролює, діагностує та записує наступні дані польоту:
1). Швидкість обертання компресору двигуна;
2). Швидкість обертання турбіни;
3). Швидкість обертання несучого гвинта, крутячий момент на валу;
4). Наявність стружки у двигуні та редукторі;
5). Температуру масла в двигуні та його тиск;
6). Позицію клапану перепуску повітря;
7). Гальмування гвинта задіяне / не задіяне;
8). Виявлення грубого приземлення;
9). Зовнішні навігаційні дані;
10). Істинну та приладову повітряні швидкості;
11). Барометричну висоту;
12). Істинну висоту;
13). Температуру зовнішнього повітря;
14). Вантажний крюк (напруга / вага);
15). Повну кількість приземлень;
16). Вібрації гвинта, двигуна;
17). Місцеположення за глобальною системою навігації і позиціювання (GPS).

Ізраїльська фірма RSL Electronics LTD, ще у 2000 році заявила о створенні HUMS третього покоління. Вказана система (Total HUMS – T HUMS) (рис. 2.4) має ще більш розширені функціональні можливості, зокрема у неї реалізовані функція діагностики стану та управління загальновертолітним обладнанням

Також існують варіанти інтерфейсних рішень стосовно T-HUMS.
Одним з таких варіантів є багатофункціональний дисплей (MFD), який спеціально розроблений для T-HUMS та здатний забезпечити автономний інтерфейс і дисплей для вертольотів, на борту яких не встановлена “скляна” кабіна або інші багатофункціональні дисплеї

Впровадження автоматизованої системи контролю та діагностування (АСКД) на вертольоті Ми-8МТ дозволить значно підвищити рівень безпеки польотів, зменшити експлуатаційні витрати та збільшити ресурс роботи агрегатів.
Структура АСКД може включати такі компоненти:
Датчики для збору інформації про стан агрегатів та систем;
Бортовий комп'ютер для обробки інформації та прийняття рішень;
Інтерфейс для відображення інформації екіпажу;
Система реєстрації та архівування даних.
Впровадження АСКД на Ми-8МТ потребує ретельного вивчення та аналізу ряду факторів:
Аеродинамічні характеристики вертольота;
Системи керування вертольота;
Програмне забезпечення;
Випробування вертольота.

Впровадження АСКД на Ми-8МТ може бути поетапним, з поступовим розширенням функціональних можливостей системи.

Впровадження HUMS на українських вертольотах може бути економічно вигідним, оскільки дозволить:

Зменшити кількість аварій та вимушених посадок;

Збільшити ресурс роботи вертольотів;

Знизити витрати на технічне обслуговування.

Важливо зазначити, що HUMS є складною системою, яка потребує кваліфікованого обслуговування та експлуатації.

Впровадження БАСК може бути поетапним, з поступовим розширенням функціональних можливостей системи.

Загалом, впровадження АСКД, HUMS та БАСК на вертольоти Ми-8МТ та інші українські вертольоти може значно підвищити їхні льотні характеристики, безпеку та ефективність.

Список використанихджерел:

1. Довідник учасника АТО: озброєння і військова техніка Збройних Сил Російської Федерації / [А. М. Алімпієв, Г. В. Пєвцов, Д. А. Гриб та ін.]; за заг. ред. А. М. Алімпієва. – Х. : Оригінал, 2015. – 732 с.

2. NATO StandardizationAgency. "NATO StandardizationAgreement (STANAG) forHelicopterHealthandUsageMonitoringSystems." Brussels: NATO, 2020.

3.Зарубін А.М. Аерометричні прилади та системи: навч. посіб./ А.М. Зарубін. – Х.: ХУПС, 2013.–66с.

Василіаді Максим Олександрович *– Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email:maksim.vasiliadi1999@gmail.com;*

Козир Анастасія Володимирівна *– Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email: kozyranastasia27@gmail.com;*

Георгієв Юрій Вікторович *– Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966.*

Vasiliadi Maksim Oleksandrovych *– Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, student of 262C training group, Kharkiv, Ukraine; email:maksim.vasiliadi1999@gmail.com*

KozyrAnastasia Vladimirovna *– Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, student of 262C training group, Kharkiv, Ukraine; email: kozyranastasia27@gmail.com*

Yuriy Viktorovych Georgiev *– Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, senior lecturer, department No. 203, Kharkiv, Ukraine; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966*

УДК 629.735.055.4

Іваничко І. В., Колеснік В. М., Василенко Р. В.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДАТЧИКІВ ТИСКУ ЩОДО ЇХ ВСТАНОВЛЕННЯ У МАГІСТРАЛІ СТАТИЧНОГО ТА ПОВНОГО ТИСКІВ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ЛІТАКА

Анотація. *В доповіді розглянуто питання підвищення надійності, точності та автономності систем живлення аерометричних приладів систем повного та статичного тисків багатоцільового літака. Аналіз бойового досвіду свідчить про критичну важливість достовірності інформації про аерометричних параметрів під час виконання бойових завдань. Отримання точної інформації про швидкість та висоту польоту літака має важливе значення, як у повітряному бою, так і під час бойового чергування. Проведений аналіз до системи живлення аерометричних приладів систем повного і статичного тисків багатоцільового літака показав, що основні шляхи підвищення точності визначення висоти польоту літака можливий за рахунок встановлення сучасних датчиків тиску, це в свою чергу дозволить знизити експлуатаційні витрати та забезпечити технологічну незалежність авіаційних систем.*

Ключові слова: *аерометричні прилади, повітряне судно, приймач повітряного тиску, система повітряних сигналів, система повного тиску, система статичного тиску.*

Annotation. *The report examines issues related to improving the reliability, accuracy, and autonomy of power supply systems for aerometric instruments in total and static pressure systems of multi-purpose aircraft. Analysis of combat experience shows the critical importance of reliable information on aerometric parameters during combat missions. Obtaining accurate information about the speed and altitude of an aircraft is important both in air combat and during combat duty. The analysis of the power supply system for aerometric instruments of total and static pressure systems of a multi-purpose aircraft showed that the main ways to improve the accuracy of determining the flight altitude of an aircraft are possible by installing modern pressure sensors, which in turn will reduce operating costs and ensure the technological independence of aviation systems.*

Keywords*: aerometric instruments, aircraft, air pressure receiver, air signal system, total pressure system, static pressure system.*

Однією з цілей керування польотом є приведення повітряного судна (ПС) у задане положення відносно земної поверхні та набігаючого повітряного потоку, а також витримування заданого значення повітряної швидкості. Серед значної кількості пілотажно-навігаційних приладів, які встановлюються на ПС, особливе місце належить аерометричним пілотажно-навігаційним приладам та системам. Вони вимірюють пілотажно-навігаційні параметри, що визначаються властивостями повітряного потоку, який обтікає ПС під час польоту.

Безперервне вимірювання аерометричних параметрів необхідне для забезпечення режимів пілотування та навігації. Саме ці параметри визначають аеродинамічні сили і моменти, що діють на ПС та його рульові поверхні, й умови функціонування його бортових систем, силових установок, систем автоматичного керування і та ін. Дійсно, для керування ПС найкращим чином, його окремими системами, важливо знати орієнтацію об’єкта відносно повітряного потоку, що його обтікає, та інтенсивність обтікання або швидкісний напір, величина якого визначається густиною повітряного середовища ρ та швидкістю повітряного потоку V [1].

Для вимірювання барометричної висоти, швидкості та числа М польоту за допомогою аерометричних приладів до останніх необхідно підводити статичний та повний тиск повітряного потоку, що набігає на ПС. Для цього аерометричні прилади підключаються до системи живлення. Висотоміри, варіометри, покажчики швидкості та інші аерометричні прилади вимірюють статичний тиск або різницю повного і статичного тисків. Для цього на літаках встановлюються приймачі повітряного тиску (ППТ) які призначені для прийому повного і статичного тиску або

приймачі повного тиску і плити для вимірювання статичного тиску і магістралі з трубопроводів. Вірність показань аерометричних приладів (АМП) визначається переважно похибками сприйняття статичного та повного тисків або аерометричними похибками.

Численними дослідженнями встановлено, що стан атмосфери з підйомом на висоту не залишається постійним − змінюються температура, густина, вологість повітря та його тиск.

Похибки аерометричних приладів виникають внаслідок того, що тиски, які сприймаються ППТ, передаються по тонких та довгих (до 50 м) трубопроводах, які чинять значні аеродинамічні опори потокам повітря і створюють швидкісні втрати. У результаті цього зміна тиску у приладах відбувається з запізненням тим більшим, чим більші довжина трубопроводів та об’єми приладів.

Аналіз похибок аерометричних приладів показав, що вони можуть бути інструментальними, методичними та аеродинамічними. Інструментальні похибки пов’язані з неточностями виготовлення та зносом елементів приладу, вони є індивідуальними. Методичні похибки зумовлені недосконалістю барометричного методу, включно з відхиленнями атмосферного тиску, температури та рельєфу місцевості. Аеродинамічні похибки виникають через невідповідність осей приймачів напрямку зустрічного потоку, кути атаки та ковзання, а також вплив числа М польоту. Для їх зменшення застосовуються приладові та аеродинамічні методи компенсації. Приладовий метод обчислює аеродинамічні поправки експериментально та вносить їх у показання приладів, проте він ускладнює конструкцію та не забезпечує централізованої компенсації. Аеродинамічний метод передбачає встановлення спеціальних компенсаторів у потоці повітря, що дозволяє зменшити похибки сприйняття статичного тиску без додаткових електронних компонентів.

Конструктивно ППТ мають різні будови. Застосування сучасних електронних датчиків тиску, в системі повного та статичного тисків, які слугують для забезпечення роботи обчислювача системи повітряних сигналів (СПС) необхідною первинною інформацією, що в свою чергу характеризує параметри повітряного потоку та положення ПС у ньому.

Датчики статичного та повного тиску через трубопроводи, приєднані до ППТ або системи ППТ. В основу роботи датчиків покладені різноманітні фізичні принципи (мембранні манометри, термометри опору, елементи струминної техніки, датчики флюгерного типу і та ін.). Датчики можуть також будуватись за принципом слідкуючої системи, що реалізує компенсаційний метод вимірювання, або містити власні обчислювальні пристрої.

Принципом дії будь-якого датчика тиску є перетворення тиску, що діє на чутливий елемент, в електричний сигнал. Чутливі елементи, які входять до складу датчиків тиску, є механічними пристроями, які деформуються або пересуваються під дією зовнішнього впливу, – саме це і фіксується в процесі вимірювань. Першу групу чутливих елементів створюють пристрої, в яких тиск перетворюється в силу, яка переміщує математичну точку її прикладання. Найпоширенішими чутливими елементами цього типу є трубка Бурдона, яка «розгинається» під дією тиску, а також сильфон і мембранна коробка, жорсткий центр яких здійснює поступальний рух. Другу групу, яку найчастіше використовувану в МЕМС-датчиках, утворюють чутливі елементи, в яких тиск перетворюється в деформацію пружної мембрани. Тут тиск залишається розподіленою силою, а чутливим елементом стає вся поверхня мембрани, яка прогинається під дією тиску [2].

Існує декілька методів перетворення отриманого відхилення мембрани або пластини в електричний сигнал, основними з яких є тензо- і п'єзорезистивний ефект. Існують також МЕМС датчики тиску, що побудовані на основі ємнісних, резонансних і індукційних перетворювачів. Проте найбільш поширеними поки залишаються п‘єзорезистивні та резонансні датчики тиску [3].

Сучасні вимоги до систем живлення аерометричних приладів включають стабільність електроживлення, стійкість до температурних коливань, вібрацій і перевантажень, а також автоматичну компенсацію похибок у реальному часі. Важливим є підвищення живучості систем у бойових умовах, коли можливі часткові пошкодження датчиків або вимірювальних елементів.

Використання цифрових технологій та систем автоматичного діагностування дозволяє знизити експлуатаційні витрати, підвищити точність аерометричних показань і забезпечити надійну роботу приладів навіть у складних метео та бойових умовах [4].

Таким чином, удосконалення системи живлення аерометричних приладів систем повного та статичного тисків багатоцільового літака та впровадження сучасних технологій вимірювання і живлення аерометричних приладів є критично важливою для підвищення ефективності та безпеки польотів, забезпечення точності пілотування та успішного виконання бойових завдань.

Список використаних джерел:

1. Зарубін А. М. Аерометричні прилади та системи. – Харків: ХУПС, 2014. – 156 с.

2. Дослідження мікроелектромеханічних систем. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт/Укл.: М.П. Василенко, М.П. Мухіна, В.М. Синєглазов, М.К.Філяшкін – К.: НАУ, 2019. – 115 с.

3. Філяшкін М.К. Мікроелектромеханічні системи – К.: НАУ. – 2019. – 276 с.

4. Лобур М. Основи мікросистемних пристроїв / Мельник М. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2016. – 258 с.

Іваничко Іван Васильович – *курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: ivanivanichko17@gmail.com.*

Колеснік Вадим Миколайович *– слухач інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: ien4323nerv@gmail.com.*

Василенко Роман Вікторович – *старший викладач кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, email: spike75.rv@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001- 7683-7526*

Ivanychko Ivan Vasylovych – *cadet from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: ivanivanichko17@gmail.com.*

Vadym Mykolayovych Kolesnik *– student from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e- mail: ien4323nerv@gmail.com.*

Roman Viktorovich Vasylenko – *senior lecturer, Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, email: spike75.rv@gmail.com,, ORCID https://orcid.org/0000-0001-7683-7526*

УДК 629.735.083.7

Каленчук І. О., Василенко Р. В.

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ІНЕРЦІАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ МОДУЛІВ ДО СКЛАДУ ІНФОРМАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ВЕРТИКАЛІ І КУРСУ ИК-ВК80

Анотація. *Проблема точного визначення місцеположення повітряного судна (ПС) в повітряному просторі є найголовнішою при рішенні завдань навігації. Досвід в бойових дій засвідчує наявність суттєвих проблем в системі навігації, зокрема часті відмови авіаційного та пілотажно-навігаційного обладнання (відмова інерціальної курсовертикалі ИКВ-80), що безпосередньо впливає на бойову ефективність ПС. Тому виникає необхідність у глибокому дослідженні функціонування інформаційних комплексів вертикалі і курсу, аналізі сучасних вимірювачів кутових параметрів, а також у розробці рекомендацій щодо модернізації та інтеграції сучасних вимірювальних модулів до складу ИК-ВК80 багатоцільових літаків.*

Ключові слова: *повітряне судно, інерціальна навігаційна система, інформаційний комплекс вертикалі і курсу, інерціальна курсовертикаль, гіроскоп, акселерометр.*

Annotation. *The problem of accurately determining the location of an aircraft in airspace is paramount when solving navigation tasks. Combat experience has shown that there are significant problems in the navigation system, in particular frequent failures of aviation and flight navigation equipment (failure of the IKV-80 inertial course vertical), which directly affects the combat effectiveness of the aircraft. Therefore, there is a need for in-depth research into the functioning of vertical and course information systems, analysis of modern angular parameter measuring devices, and the development of recommendations for the modernization and integration of modern measuring modules into the IK-VK80 of multi-purpose aircraft.*

Key words: *aircraft, inertial navigation system, vertical and course information complex, inertial course vertical, gyroscope, accelerometer.*

У ході ведення бойових дій важливе значення мають дії авіації. Під час виконання бойових завдань досить часто авіація застосовується на гранично малих висотах в режимі радіомовчання, щоб імовірність виявлення зенітно-ракетними комплексами противника була мінімальною. Власне для орієнтації та навігації на борту доцільно використовувати системи зчислення шляху на базі інерціальної навігаційної системи (ІНС). ІНС відрізняються автономністю, скритністю, безперервністю, незалежністю від погодних умов та пори доби, захищеністю від перешкод, але потребують підвищення точності.

Теоретичними основами будови алгоритмів ІНС є поняття репера та аналіз його руху в обраних системах координат. Від вибору цих систем залежать повнота та точність отримуваного переліку навігаційних параметрів, які визначають місцеположення ПС, висоту та напрямок його руху [1].

На літаках МиГ-29 завдання літаководіння виконуються за допомогою інформаційного комплексу вертикалі і курсу ИК-ВК80. Інформаційний комплекс вертикалі і курсу ИК-ВК80 призначений для видачі споживачам і на індикацію сигналів, пропорційних кутам крену γ, тангажу υ, гіроскопічного курсу $\psi_г$, приведеного курсу $\psi_{пр}$ та складових абсолютної швидкості V_ξ, V_η, V_ζ уздовж осей гіроплатформи, які є вихідними параметрами для числення координат. Цей комплекс належить до класу інерціальних навігаційних пристроїв і є одним із основних джерел даних для систем пілотажно-навігаційного комплексу повітряного судна [2].

Функціонування комплексу забезпечує прихованість і захищеність від завад, автономну навігацію, надійність визначення пілотажно-навігаційних параметрів, можливість застосування у будь-яких погодних умовах та у будь-який час доби, що особливо важливо при бойових діях.

Основу комплексу складають дві інерціальні курсовертикалі: основна ИКВ-80-6 і резервна ИКВ-80-4. Курсовертикаль видає споживачам таку інформацію [2]:

− гіроскопічний курс $\psi_г$,

− кути тангажу υ та крену γ;

− складові a_ξ, a_η абсолютного прискорення центру мас літака уздовж ортогональних осей платформи;

− складову a_ζ абсолютного прискорення уздовж вертикальної осі платформи.

При подачі живлення система автоматично виконує процедури виставки, після чого переходить у робочий режим. Під час експлуатації ИК-ВК80 забезпечує безперервну видачу сигналів про кутове положення та прискорення літака, що є основою для формування навігаційних і пілотажних параметрів.

В умовах інтенсивного маневрування, застосування засобів протиповітряної оборони противника та виконання польотів на гранично малих висотах до авіаційного обладнання висуваються жорсткі вимоги щодо точності, надійності, швидкості підготовки до роботи та стійкості до зовнішніх збурень. Однак досвід в бойових дій засвідчує наявність суттєвих проблем в системі навігації, зокрема часті відмови авіаційного та пілотажно-навігаційного обладнання (відмова інерціальної курсовертикалі ИКВ-80), що безпосередньо впливає на бойову ефективність ПС.

Тому виникає необхідність у глибокому дослідженні функціонування інформаційних комплексів вертикалі та курсу, аналізі сучасних вимірювачів кутових параметрів, а також у розробці рекомендацій щодо модернізації та інтеграції таких систем до складу вітчизняних багатоцільових літаків.

У бойових умовах параметри орієнтації літака зазнають інтенсивних змін, що істотно впливає на точність навігації та прицілювання. Пікірування супроводжується швидким від'ємним тангажем, що призводить до значних перевантажень і ускладнює стабільність орієнтації. Ухилення від ракети передбачає комбінацію змін крену та тангажу з великими кутовими швидкостями, що вимагає високої точності вимірювань. Бойовий розворот характеризується значним креном до 60–70° і швидкою зміною курсу, що потребує максимальної точності систем орієнтації. Дослідження показують, що саме в цих режимах найбільш критичними є похибки вимірювання крену та курсу, які можуть досягати декількох градусів і суттєво знижувати ефективність прицілювання та навігації [3].

У процесі активного маневрування інерціальні вимірювачі працюють у складних умовах, коли суттєво зростають впливи динамічних перевантажень, вібрацій та температурних змін. Це призводить до появи додаткових складових похибок, які в спокійному польоті є незначними.

Також одним із найважливіших параметрів, який безпосередньо впливає на льотні характеристики, економічність, безпеку та ефективність експлуатації повітряного судна це вага обладнання. Кожен кілограм маси, встановлений на борту, має свою ціну у вигляді збільшеної витрати палива, зменшення корисного навантаження або обмеження дальності польоту.

Найперспективнішими у теперішній час є безплатформні інерціальні навігаційні системи (БІНС), які у порівнянні з платформними мають цілий ряд переваг: менші розміри, маса та енергоємність; значне спрощення механічної частини системи та її компоновки; відсутність обмежень з кутів розвороту; скорочення часу початкового виставлення; визначення навігаційних параметрів за допомогою алгоритмів; спрощення рішення задачі резервування і контролю працездатності системи та її елементів.

У сучасному літакобудуванні кожен грам маси повинен бути виправданим. Тому інженери прагнуть об'єднувати функції кількох систем в одну, застосовувати модульні конструкції, мікроелектроніку та цифрові обчислювальні блоки замість масивних електромеханічних приладів. Наприклад, інформаційні комплекси типу ИК-ВК80 у новіших модифікаціях інерціальну курсовертикаль ИКВ-80, що має 30 кг ваги, замінюються цифровими інерціальними вимірювальними модулями (блоками), які важать у десятки разів менше, але забезпечують вищу точність вимірювань [4].

З точки зору перспективності використання в інерціальних навігаційних системах важливе місце відводиться лазерним, мікроелектромеханічних та волоконно-оптичним гіроскопам.

Порівняльна характеристика сучасних вимірювачів кутової інформації показала, що кільцеві лазерні гіроскопи забезпечують найвищу точність та стабільність, проте залишаються дорогими та технологічно складними у виробництві. Волоконно-оптичні гіроскопи відзначаються меншими габаритами й надійністю завдяки відсутності рухомих частин, що

робить їх особливо придатними для маневрових повітряних суден. Хвильові твердотільні гіроскопи демонструють перспективність завдяки компактності та відносно низькій вартості, однак їх точність поки що поступається іншим типам.

Аналіз акселерометрів різних типів показав, що вони забезпечують високу точність і стабільність, що робить їх найбільш перспективними для застосування в авіаційних інерціальних системах. розвиток вимірювальних приладів у галузі авіації демонструє чітку тенденцію до переходу від класичних механічних та термоелектричних сенсорів до оптичних та твердотільних рішень, які поєднують точність, компактність і високу надійність.

При використанні інерціальних вимірювальних блоків компаній GuideNav або Crouzet ми маємо змогу досягнути кращих вагових характеристик та скоротити час підготовки комплексу до застосування [5, 6].

Провівши таку модернізацію , отримаємо інформаційний комплекс, який має збільшену надійність, меншу затрату часу на підготовку і спрощення обслуговування системи інженерно-технічним складом, так як така система буде мати менше відмов, а також точність вимірювальних значень з мінімальними похибками**.** Комплекс в такій компановці достатньо швидко адаптувати до системи супутникової навігації, що підвищує надійність і функціональність обладнання в цілому.

Список використаних джерел:

1. Зарубін А. М. Інерціальні вимірювачі в авіоніці : навч. посіб. – Х. : ХУПС, 2014.
2. Інформаційний комплекс вертикалі і курсу ИК-ВК80-4: навч. посіб. / А.М. Зарубін, Р.В. Василенко, Лі Фей. – Х. : ХНУПС, 2020.
3. Зарубін А.М. Системи орієнтації та навігації Ч. 2. Навігаційні системи літальних апаратів: курс лекцій – Х. : ХНУПС , 2012.
4. Курсові системи та курсовертикалі : навч. посіб. /. М. Зарубін, М. М. Петренко. – Х. : ХУПС, 2012. -128 с.
5. https://guidenav.com/uk/ins
6. http://ua.liocrebifx.com/inertial-navigation-system/

Каленчук Ігор Олегович *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, email: igorkalenchuk2@gmail.com.*

Василенко Роман Вікторович *– старший викладач кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 21029, email: spike75.rv@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001-7683-7526*

Roman Viktorovich Vasylenko *– senior lecturer, Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, email: spike75.rv@gmail.com,, ORCID https://orcid.org/0000-0001-7683-7526*

Kalenchuk Ihor Olehovych *– student from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, email: igorkalenchuk2@gmail.com.*

УДК 629.7.05

Бердніков Є. Р., Василенко Р. В.

АНАЛІЗ ВИМОГ ДО ІНДИКАТОРІВ ПОЛЬОТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ТА ПРИНЦИПІВ ЇХ ПОБУДОВИ

Анотація. *Індикатори польотної інформації відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки, точності та ефективності керування літаком під час виконання бойових і навчально-тренувальних польотів. У доповіді розглянуто склад, структуру та функції системи індикації польотних параметрів, зокрема авіагоризонту, варіометра, висотоміра, які утворюють основне інформаційне поле кабіни пілота. Проаналізовані основні вимоги до індикаторів польотної інформації за трьома напрямами це: технічним, експлуатаційним та ергономічним. Отримані результати можуть бути використані під час подальшого вдосконалення авіоніки літака Су-27, а також при створенні навчальних тренажерів, цифрових систем індикації та модернізації кабіни пілота з метою підвищення ефективності бойового застосування.*

Ключові слова*: повітряне судно, індикатори польотної інформації, варіометр, висотомір, прицільно-навігаційний комплекс, тренажер.*

Annotation. *Flight information indicators play a key role in ensuring the safety, accuracy, and efficiency of aircraft control during combat and training flights. The report examines the composition, structure, and functions of the flight parameter indication system, in particular the artificial horizon, variometer, and altimeter, which form the main information field of the cockpit. The main requirements for flight information indicators are analyzed in three areas: technical, operational, and ergonomic. The results obtained can be used in the further improvement of the Su-27 aircraft avionics, as well as in the creation of training simulators, digital display systems, and the modernization of the cockpit to increase combat effectiveness.*

Keywords*: aircraft, flight information indicators, variometer, altimeter, sighting and navigation complex, simulator.*

Система індикації польотної інформації є одним із ключових елементів авіоніки сучасних бойових літаків, що безпосередньо впливає на безпеку, точність та ефективність керування повітряним судном (ПС). Вона забезпечує пілота всіма необхідними даними для орієнтації у просторі, контролю швидкісно-висотних характеристик, стабілізації польоту та виконання бойових завдань у складних умовах. Високі динамічні навантаження, обмежений час реакції пілота, а також необхідність одночасного сприйняття великої кількості параметрів обумовлюють особливі вимоги до точності, швидкодії та приладів індикації.

Для більш ефективного виконання своїх функцій екіпаж повинен мати можливість сприймати та осмислювати великий об’єм інформації, виробляти стратегію досягнення мети польоту та реалізовувати свої наміри шляхом впливу на різні органи керування. Необхідно обробляти великі масиви інформації за дуже стислий проміжок часу. Отже організація зручного становища в кабіні літака, в особливості, індикації польотної інформації набуває принципового значення в проблемі підвищення ефективності використання авіаційної техніки і розширення її можливостей.

У зв’язку з тим, що на сучасних ПС збільшився об’єм інформації, для виконання польотного завдання екіпажем з’явилася необхідність її інтеграції і подання в більш швидкому доступному вигляді екіпажу.

Для відображення інформації в кабіні літака застосовувалися і застосовуються стрілочно-вказівні прилади. Але поряд з їх простотою та надійністю, їм властиві такі недоліки, як відсутність наочності інформації, видача її, в основному в кількісному вигляді.

Особливістю системи індикації Су-27 є її побудова за принципом «сенсор-обробка - індикація», де первинна інформація від гіроскопічних, пневматичних і барометричних сенсорів передається до прицільно-навігаційного комплексу ПНК-10, проходить цифрову обробку й подається на аналогові індикатори кабіни пілота. Такий підхід забезпечує синхронність показань, високу точність та узгодженість між усіма елементами інформаційного поля.

Індикатори польотної інформації повинні бути представленні в найбільш зручному вигляді, щоб, насамперед не відволікати льотчика від виконання бойового завдання. Засоби відображення інформації повинні володіти досить високою надійністю, забезпечувати екіпажу

можливість оцінки їх справності в будь-який момент часу польоту, щоб виключити можливість сприйняття невірної інформації, забезпечення екіпажу надійною пілотажно-навігаційною інформацією.

Переваги дисплеїв, як пристроїв відображення польотної інформації, достатньо очевидні точність, швидкодія, стійкість до перевантажень і вібрацій, а також зручність зчитування інформації. До нових індикаторів відносять плоскопанельні кольорові дисплеї.

Системи індикації на плоскопанельних кольорових дисплеях мають високу наочність, зображення пілотажно-навігаційної інформації на лобовому склі, подання тієї інформації, яка необхідна на даному режимі польоту, накладання навігаційної інформації на карту місцевості, попередня обробка пілотажно-навігаційної інформації та подання льотчику у формі підказки для здійснення правильних дій. У теперішній час завдяки встановленні в кабіні літака електронного індикатора з'явилася можливість створення на їх базі експертних систем, що дозволяють оперативно отримувати всю необхідну для виконання тих чи інших операцій інформацію з використанням нових форм її представлення.

Пропонується встановлення на ПС багатофункціональних дисплеїв MFD10.SPO розробки ТОВ «ВКФ «СТОРК» місто Київ.

Найголовніша причина встановлення багатофункціональних дисплеїв ТОВ «ВКФ «СТОРК» на ПС на даний час полягає в можливості зменшення навантаження на інженерно-технічний склад авіаційних частин, у сенсі виконання робіт по заміні одних приладів, які встановлені на ПС які нам надають країни-партнери, на інші прилади з літаків, які в нас були до початку війни і були пошкодженні в результаті бойових дій. Це вивільнить час для особового складу для виконання інших більш важливих завдань, що стосуються бойової підготовки.

Розвиток систем індикації польотної інформації призводить до радикальних змін ролі льотчика: з водія, який здійснює інтегральну обробку всієї інформації, що надходить, він перетворюється в керівника польоту на борту, який буде приймати рішення на основі узагальненої інформації від бортового комп'ютера.

Список використаних джерел:

1. Технічний опис літака Су-27. - К.: МО України, 2010.
2. Ільїн О. В., Кузнєцов С. Г. Авіоніка літаків типу Су-27. - Харків: ХНУПС, 2018.
3. Зарубін А. М. Інерціальні вимірювачі в авіоніці. - Харків: ХУПС, 2014. – 120 с.
4. Технічна інструкція ПНК-10. - Київ: АТ «Арсенал», 1990.
5. Titterton D., Weston J. Strapdown Inertial Navigation Technology. London: IEE, 2024.

Бердніков Євгеній Русланович *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: jberdnikov0609@gmail.com*

Berdnikov Yevheniy Ruslanovych *– student from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: jberdnikov0609@gmail.com*

Василенко Роман Вікторович *– старший викладач кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, email: spike75.rv@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001-7683-7526*

Roman Viktorovich Vasylenko *– senior lecturer, Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, email: spike75.rv@gmail.com,, ORCID https://orcid.org/0000-0001-7683-7526*

УДК 621.396.96

Тах'ян К. А., Климченко В. Й., Тютюнник В. О., Арасланов М. Р.

СУПРОВОДЖЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ В НЕПОВНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ

Анотація. *Показано, що супроводження цілей в неповній системі координат, призводить до погіршення точності супроводження цілей через похибки перерахунку координат із неповної сферичної системи в просторову прямокутну. Розглянуто спосіб врахування похибок перерахунку координат через введення умовного значення кута місця цілей, розвіданих двокоординатними засобами виявлення, і визначено оптимальне значення умовного кута місця для двокоординатних радіолокаційних станцій (РЛС) радіотехнічних військ (РТВ).*

Ключові слова: *радіолокаційні станції, супроводження цілей, система координат, точність супроводження.*

Abstract. *It is shown that tracking targets in an incomplete coordinate system leads to a deterioration in the accuracy of tracking targets due to errors in the conversion of coordinates from an incomplete spherical system to a spatial rectangular one. A method of taking into account errors in the conversion of coordinates by introducing a conditional value of the elevation angle of targets detected by two-coordinate detection means is considered, and the optimal value of the conditional elevation angle for two-coordinate RTV radars is determined.*

Keywords: *radar stations, target tracking, coordinate system, tracking accuracy.*

При супроводженні повітряних об'єктів в системах протиповітряної оборони (ППО) з рознесеними у просторі радіолокаторами перевагу необхідно надавати тим модифікаціям фільтра Калмана, в яких передбачається попередній перерахунок виміряних радіолокатором полярних чи сферичних координат в єдину прямокутну систему [1]. В системі ППО половину засобів радіолокаційної розвідки становлять двокоординатні РЛС, через що супроводження цілей в системі доцільно здійснювати в площинних прямокутних координатах, а висоту польоту цілі використовувати, як траєкторну ознаку.

Двокоординатні РЛС вимірюють похилу дальність до цілі $r_ц$ і азимут цілі $\beta_ц$. Перерахунок отриманих координат в прямокутну систему здійснюється за співвідношеннями: $x_ц = r_ц \cdot \sin(\beta_ц)$; $y_ц = r_ц \cdot \cos(\beta_ц)$, тоді як правильний перерахунок необхідно здійснювати за співвідношеннями:

$$x_ц = r_ц \cdot cos(\varepsilon_ц) \cdot \sin(\beta_ц);\ \ y_ц = r_ц \cdot cos(\varepsilon_ц) \cdot \cos(\beta_ц), \qquad (1)$$

де $\varepsilon_ц$ – невідомий кут місця цілі, а величина $r_ц \cdot cos(\varepsilon_ц) = r_г$ являє собою проекцію похилої дальності на горизонтальну площину. Через це виникають систематичні похибки у визначенні прямокутних координат цілей:

$$\delta_x = r_ц \cdot \sin(\beta_ц) \lceil 1 - cos(\varepsilon_ц) \rceil,\ \delta_y = r_ц \cdot \cos(\beta_ц) \lceil 1 - cos(\varepsilon_ц) \rceil. \qquad (2)$$

Незважаючи на те що похибки (2) за походженням є систематичними, величина їх невідома, оскільки невідомим є кут місця цілі $\varepsilon_ц$. Крім того, величина похибок постійно змінюється залежно від висоти польоту цілі, дальності до неї та азимутального положення. Отже, за характером дії означені похибки можна вважати випадковими, величина яких може змінюватись в межах $0 \le \delta \le \delta_{max} = r_ц \cdot \lceil 1 - cos(\varepsilon_ц) \rceil$.

Враховуючи те, що імовірність азимутального положення цілей для оглядових РЛС розподілена за рівномірним законом, то й розподіл імовірності похибок перерахунку координат

наближено теж можна вважати рівномірним. В такому випадку середньоквадратична похибка (СКП) перерахунку координат буде виражатись відомим співвідношенням [2]: $\sigma_{пер} = \frac{\delta_{max}}{2\sqrt{3}}$.

Вплив похибок перерахунку координат на якість супроводження цілей можна вважати несуттєвим, якщо дисперсія означених похибок є на порядок меншою, ніж дисперсія похибок вимірювання координат радіолокаційною станцією, тобто середньоквадратичне значення похибок перерахунку має бути приблизно втричі меншим, ніж середньоквадратичні похибки вимірювання дальності до цілі радіолокатором.

Сучасні двокоординатні РЛС [3] вимірюють дальність до цілі із середньоквадратичною похибкою 100…200 м. Отже, припустимим значенням середньоквадратичних похибок перерахунку є $\sigma_{пер} = 30$ м. При цьому максимальна похибка перерахунку становить приблизно 100 м.

На рис. 1 наведена область простору, в якій похибки перерахунку координат не перевищують 100 метрів, а середньоквадратичні похибки при цьому не більше, ніж 30 м.

Отже, при супроводженні маловисотних цілей ($h_ц \leq 1000$ м) за даними двокоординатних РЛС похибками перерахунку координат можна знехтувати.

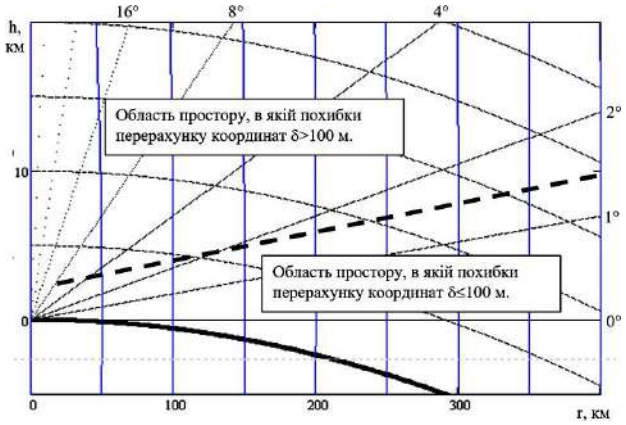


Рис. 1. Розподіл похибок
перерахунку координат по простору

В решті випадків врахування похибок перерахунку координат при супроводженні цілей за даними двокоординатних РЛС є обов'язковим. Врахування похибок перерахування може бути здійснене через штучне збільшення середньоквадратичних похибок вимірювання дальності двокоординатними РЛС, тобто вважати, що СКП вимірювання дальності двокоординатною РЛС $\sigma_{рлс} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_{пер}^2}$, де σ_r – СКП вимірювання дальності власне самою РЛС; $\sigma_{пер}$ – СКП перерахунку координат. Таке збільшення є припустимим доти, доки $\sigma_{пер} \leq \sigma_r$. За такої умови узагальнені середньоквадратичні похибки вимірювання дальності радіолокатором) збільшуються в $\sqrt{2}$ раз. Подальше погіршення точності вимірювання координат через введення похибок перерахування є недоцільним.

Використання способу штучного збільшення середньоквадратичних похибок вимірювання дальності двокоординатними РЛС є можливим лише в тих областях простору, в яких максимальні $\delta_{max} \leq 300\ м$, $\sigma_{пер} \leq 100\ м$. Означена область є більшою, ніж область, в якій похибками перерахунку координат можна знехтувати (див. рис. 1), але охоплює лише сектор малих кутів місця.

Просторову область, в якій можна використовувати штучне збільшення середньоквадратичних похибок вимірювання дальності двокоординатними РЛС, може бути

розширена, якщо виявленим двокоординатним радіолокатором цілям відразу надавати деякий умовний кут місця $\varepsilon_{ум} = 2,5^o$ і перерахунок координат здійснювати за співвідношеннями (1).

На рис. 2 наведена область простору, в якій похибки перерахунку координат не перевищують 300 метрів, а середньоквадратичні похибки при цьому не більше, ніж 100 м.

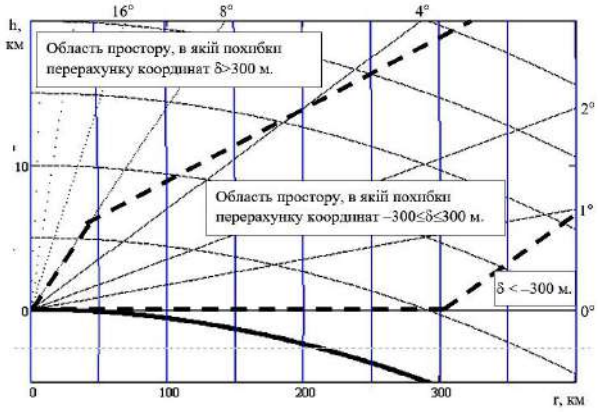


Рис. 2. Розподіл похибок перерахунку координат по простору при $\varepsilon_{ум} = 2,5^o$

При супроводженні цілей, що перебувають в означеній області, за даними двокоординатних РЛС необхідно вхідні дані доповнити третьою координатою через надання усім цілям кута місця $\varepsilon_{ум} = 2,5^o$ і перерахунок зі сферичної системи координат в прямокутну здійснювати за співвідношеннями (1). Крім того, в матриці точності вимірювання координат необхідно значення середньоквадратичних похибок вимірювання дальності збільшити в $\sqrt{2}$ раз.

Висновок. Мінімізація похибок перерахунку неповних сферичних координат в прямокутні по всій зоні виявлення може бути певною мірою досягнута за рахунок надання цілі умовного кутомісцевого положення, величина якого залежить від точності вимірювання дальності самою РЛС. Для типових оглядових двокоординатних РЛС РТВ величина умовного кутомісцевого положення цілі становить $\varepsilon_{ум} = 2,5^o$. При цьому область простору, в якій похибки перерахунку не перевищують похибок вимірювання РЛС дальності до цілі, охоплює майже всю зону виявлення цілей.

Список використаних джерел:

1. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – К: КВІЦ, 2000. – 428 с.

2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. 2-е изд., стер. М.: Высшая школа, 2000. 480 с.

3. Висоцький О.В. Аналіз тактико-технічних характеристик основних радіолокаційних засобів існуючої системи контролю повітряного простору України. Системи озброєння і військова техніка. 2014. №4(40). С. 10-13.

Тах'ян Кристина Альбертівна *– старший науковий співробітник наукового центру Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: madi27@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0003- 0087-9601*

Климченко Василь Йонович *– кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник наукового центру Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: vasklim@i.ua ORCID https://orcid.org/0000-0003-3999-8130*

Тютюнник Владислав Олександрович *– кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник управління наукового центру Харківського національного*

університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023,

e-mail: tvlad1970@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-7766-3246

***Арасланов Михайло Рімович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник наукового центру Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: armiri@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0002-8911-0470*

***Kristina Tahyan** – Senior Researcher Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University Kharkiv, Ukraine, https://orcid.org/0000-0003-0087-9601, madi27@ukr.net*

***Vasyl Klimchenko** – Philosophy Doctor in Engineering Associate Professor Leading Researcher Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University Kharkiv, Ukraine https://orcid.org/0000-0003-3999-8130, vasklim@i.ua*

***Vladyslav Tiutiunnyk** – Philosophy Doctor in Engineering Senior Researcher Head of Scientific Research Department Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University Kharkiv, Ukraine, https://orcid.org/0000-0002-7766-3246, tvlad1970@gmail.com*

***Mikhail Araslanov** – Philosophy Doctor in Engineering Senior Research Lead Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine https://orcid.org/0000-0002-8911-0470, armiri@ukr.net*

УДК 629.7.069

Медвідь А. В., Синюк М. А., Георгієв Ю. В.

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

Анотація: *в даній тезі розглянуто актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту авіаційних акумуляторних батарей, проведено технічний аналіз АКБ.*

Abstract: *this thesis considers current problems of combat use, operation and repair of aviation batteries, and conducts a technical analysis of the battery..*

Ключові слова: *авіаційна техніка(АТ), акумуляторна батарея, тепловий розгін, сульфатація, саморозряд, повітряне судно.*

Keywords: *aviation technology (AT),battery, thermalrunaway, sulfation,self-discharge,aircraft.*

У сучасних умовах ведення бойових дій, як новітньої так і існуючої авіаційної техніки (АТ), забезпечення безперебійної роботи систем електропостачання є одним із найважливіших завдань технічного забезпечення. Авіаційні акумуляторні батареї виконують роль резервними джерелами електричної енергії постійного струму і виконують для систем запуску двигунів, живлення електронного обладнання, систем зв'язку, навігації, апаратури. Надійність роботи акумуляторних батарей безпосередньо впливає на боєздатність техніки і виконання поставлених завдань у бойових умовах. Аеродромні акумуляторні батареї призначені для живлення:

- споживачів електроенергії літальних апаратів на землі при проведенні різних оглядів та регламентних робіт;
- системи запуска авіадвигунів.

Разом із тим, експлуатація акумуляторних батарей у військових підрозділах стикається з рядом складнощів: від агресивного впливу зовнішніх факторів до технічних недоліків конструкції та організаційних проблем обслуговування. Тому дослідження актуальних проблем бойового застосування, експлуатації та ремонту акумуляторних батарей є важливим напрямом для підвищення ефективності функціонування військової техніки та зниження рівня відмов.

Основною проблемою бойового застосування акумуляторних батарей є їх недостатня стійкість до екстремальних умов експлуатації. Військова техніка часто працює в умовах різких температурних коливань, підвищеної вологості, пилу, вібрацій і механічних ударів. У таких умовах навіть сучасні свинцево-кислотні або літієві батареї швидко втрачають ємність, знижується напруга та загальна надійність.

Додатково ускладнює ситуацію нерівномірне навантаження на батареї під час роботи різних систем. Наприклад, під час запуску двигунів спостерігається різке споживання струму, що призводить до перегріву елементів і прискореного старіння батарей. В умовах бойових дій, коли техніка використовується з максимальною інтенсивністю, такі навантаження стають постійними, а можливості для технічного обслуговування обмежені.

У більшості випадків батареї, що вийшли з ладу, підлягають заміні, що потребує значних матеріальних ресурсів і часу. Однак в умовах воєнного стану постачання нових акумуляторів може бути ускладнене, тому особливо актуальним стає питання розробки мобільних ремонтно-відновлювальних комплексів.

Підвищення ефективності можливе завдяки використанню сучасних типів акумуляторів — літій-залізо-фосфатних або твердотільних, які мають більшу енергоємність, меншу масу та підвищену стійкість до зовнішніх факторів.

Також однією із проблем під час експлуатації АБ є: саморозряд, а саме втрата ємності при зберіганні АБ. Саморозряд свинцевих батарей вважається нормальним, якщо він не перевищує 1 % Qм за добу. З огляду на це, акумуляторні батареї при зберіганні необхідно періодично підзаряджати.

У гіршому випадку при тривалому їхньому зберіганні у розрядженому стані дрібнозернистий сульфат, що утвориться в електрохімічній реакції, свинцю переходить у грубозернистий, тобто відбувається так звана сульфатація пластин або просто сульфатація.

Ознаками сульфатації свинцевих акумуляторів є:

– низька напруга на акумуляторі при нормальному значенні ЕРС;

– підвищена напруга на початку заряду (U>3 В замість 2,1.:.2,2 В) і знижена проти звичайного наприкінці заряду;

– повільне підвищення щільності електроліту при заряді й передчасна поява ознак кінця заряду;

– різке зниження ємності акумуляторних батарей стосовно ємності, показаної при останньому контрольному розряді.

Аналіз технічного обслуговування на прикладі нікель-кадмієвих акумуляторних батарей на позабазових аеродромах, які на даний час найбільше використовуються ПС показав, що експлуатація нікель-кадмієвих акумуляторних батарей типу 20НКБН-25 повинна здійснюватися відповідно до вимог експлуатаційно-технічної документації, керівництва з технічної експлуатації, регламенту технічного обслуговування і паспорту на батарею.

Тому що, основною проблемою акумуляторних батарей є те, що при тривалій паралельній роботі з генераторами постійного струму й випрямних пристроїв вони можуть за певних умов входити в режим так називаного “теплового розгону” рис 1.

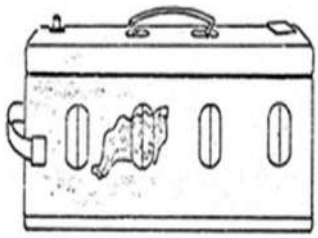


Рисунок 1. – Зовнішній вигляд акумуляторної батареї
20 НКБН-25 після утворення процесу теплового розгону

Процес збільшення зарядного струму і розігріву батареї проходить як само-прискорювальний процес. Розігрів батареї призводить до інтенсивного видалення (википання, розкладання) електроліту з акумуляторів, при цьому підвищується внутрішній опір батареї. Це призводить до зниження загальної напруги батареї і різкого збільшення зарядного струму .

Ознаки того, що акумуляторна батарея входила в режим теплового розгону:

– википання електроліту;

– наявність слідів місцевого перегріву виводів та перемичок;

– місцева деформація посудин окремих акумуляторів.

Причини, які сприяють виникненню процесу теплового розгону нікель-кадмієвих акумуляторних батарей, є:

– недостача електроліту в акумуляторах;

– підвищена напруга бортової мережі ЛА (понад 30 В);

– підвищена температура навколишнього середовища;

– погіршення стану сепараторів і активних мас;

– значна різниця за ємністю акумуляторів, які входять до складу батареї.

Це явище властиве практично всім електрохімічним системам, однак, більшою мірою, поняття “тепловий розгін” відносять до лужних, особливо, до нікель-кадмієвих акумуляторів.

Наслідком теплового розгону може з’явитися руйнування й навіть загоряння акумуляторних батарей, характер зміни параметрів акумуляторної батареї показано на рис.2.

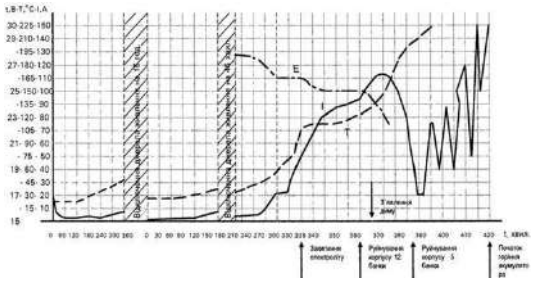


Рисунок 2. – Характер зміни параметрів акумуляторної АБ 20НКБН-25 при розвитку процесу теплового розгону.

З огляду на це, під час експлуатації необхідно дотримуватись таких рекомендацій: регулярно перевіряти заряд АКБ та не допускати глибокого розряду, захищати АКБ від екстремальних температур за допомогою утеплювачів або вентиляції, використовувати стабілізатори напруги при заряджанні, а також альтернативні джерела живлення для зарядки.

Для підвищення ефективності роботи АКБ у бойових умовах необхідно: забезпечити військові підрозділи комплектами для технічного обслуговування АКБ, навчати особовий склад методам відновлення та правильної експлуатації акумуляторних батарей, покращити логістику постачання нових АКБ у зону бойових дій.

Підвищення ефективності можливе завдяки використанню сучасних типів акумуляторів — літій-залізо-фосфатних, гібридних або твердотільних, які мають більшу енергоємність, меншу масу та підвищену стійкість до зовнішніх факторів.

Акумуляторні батареї відіграють вирішальну роль у забезпеченні бойової готовності військової техніки. Їх ефективне застосування неможливе без удосконалення системи технічного обслуговування, впровадження сучасних методів діагностики, контролю стану та оперативного ремонту. Вирішення зазначених проблем забезпечить підвищення надійності військової техніки та ефективності її бойового застосування.

Список використаних джерел:

1. Нові, модернізовані та перспективні зразки авіаційної техніки та озброєння, що застосовуються Збройними Силами України в ході російсько-української війни: довід. Частина 1 / Б.М. Іващук, Ю.В. Скорий, Р.В. Лященко, А.П. Корнієнко, М.В. Кривенков, С.О. Кадук, О.С. Білозьоров. – Х. : ХНУПС, 2024. – 112 с.

2. Нові, модернізовані та перспективні зразки авіаційної техніки та озброєння, що застосовуються Збройними Силами України в ході російсько-української війни: довід. Частина 2 / Б.М. Іващук, Ю.В. Скорий, Р.В. Лященко, А.П. Корнієнко, С.О. Кадук, М.В. Кривенков, О.С. Білозьоров. – Х. : ХНУПС, 2024. – 176 с.

3. Випуск АКБ 1177.

4. Довідник учасника АТО: озброєння і військова техніка Збройних Сил Російської Федерації / [А. М. Алімпієв, Г. В. Пєвцов, Д. А. Гриб та ін.]; за заг. ред. А. М. Алімпієва. – Х. : Оригінал, 2015.

Медвідь Анастасія Володимирівна *- Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email: nastyamedvid17@gmail.com*

Синюк Максим Андрійович *- Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email: maks7710728@gmail.com*

Георгієв Юрій Вікторович*– Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966*

Medvid Anastasia Volodymyrivna *- Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, student of 262C training group, Kharkiv, Ukraine; email: nastyamedvid17@gmail.com*

Synyuk Maksym Andriyovych *- Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, student of 262C training group, Kharkiv, Ukraine; email: maks7710728@gmail.com*

Yuriy Viktorovych Georgiev *– Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, senior lecturer, department No. 203, Kharkiv, Ukraine; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966*

УДК 355.40

Поляшов С. В., Литвиновський С. А.

СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ТЕХНІКИ ТИЛУ ТА ШЛЯХИ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

Анотація. *У статті досліджено сучасний стан системи технічного обслуговування та ремонту техніки тилу Збройних Сил України, визначено ключові проблеми, що виникають у процесі експлуатації в умовах війни, та окреслено основні напрями її удосконалення.*

Показано, що ефективність технічного забезпечення значною мірою залежить від своєчасного діагностування, організації ремонтних підрозділів і логістики постачання запасних частин. Зроблено акцент на впровадження цифрових технологій моніторингу технічного стану та автоматизації управління ремонтами техніки тилу.

Ключові слова: *технічне обслуговування, ремонт, тил, військова техніка, логістика, удосконалення.*

Annotation. *The article analyzes the current state of the maintenance and repair system of rear equipment in the Armed Forces of Ukraine, identifies key problems that arise during operation in wartime conditions, and outlines the main directions for its improvement. It emphasizes the importance of digital technologies, automation, and logistics optimization in ensuring effective maintenance support.*

Keywords: *maintenance, repair, logistics, military equipment, modernization.*

Система технічного обслуговування і ремонту техніки тилу є невід'ємним складником військової логістики та однією з ключових умов підтримання боєздатності військових частин. Під час сучасної війни Росії проти України питання забезпечення справності техніки тилуя набуло особливого значення, оскільки від надійності транспортних, ремонтних і спеціальних засобів безпосередньо залежить здатність військ до своєчасного постачання, евакуації та відновлення матеріальних ресурсів.

Система технічного обслуговування передбачає комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на підтримання працездатності техніки тилу протягом усього періоду її експлуатації. У сучасних умовах важливим є перехід від реактивного підходу (ремонт після поломки) до проактивного — планового технічного обслуговування та прогнозування можливих відмов. В умовах активних бойових дій особливу роль відіграє мобільність системи технічного обслуговування техніки тилу.

Ремонтні підрозділи повинні бути здатними до швидкого розгортання у прифронтовій зоні, мати у своєму складі мобільні майстерні, комплекти інструментів і обладнання для діагностики. Ефективність таких підрозділів визначається рівнем їх технічного оснащення, підготовкою персоналу та наявністю сучасних інформаційних систем управління ресурсами.

Одним із головних напрямів удосконалення системи технічного обслуговування є цифровізація процесів. Використання автоматизованих систем управління (АСУ) дозволяє здійснювати моніторинг технічного стану машин у режимі реального часу, своєчасно планувати ремонти та оптимізувати постачання запчастин. Такі системи вже довели свою ефективність у збройних силах країн НАТО, де вони інтегровані у загальну логістичну інфраструктуру військ.

Крім того, актуальним є питання стандартизації процесів технічного обслуговування. Використання єдиних стандартів (у тому числі на основі STANAG) забезпечує взаємну сумісність і скорочує час на проведення ремонтів. Удосконалення нормативно-правової бази України у цьому напрямі дозволить гармонізувати національну систему з міжнародними стандартами.

Важливою складовою розвитку системи технічного забезпечення техніки тилу є підготовка фахівців. У сучасних умовах необхідно впроваджувати нові освітні програми, спрямовані на формування компетентностей у сфері експлуатації, діагностики та ремонту техніки тилу з використанням комп'ютеризованих систем.

Підвищення кваліфікації персоналу повинно відбуватися не лише на рівні навчальних закладів, а й безпосередньо у військових частинах через систему практичних тренінгів та курсів. Не менш важливою є логістична складова системи ремонту. Своєчасне забезпечення запасними частинами, інструментом і матеріалами в умовах обмеженого транспортного сполучення є серйозним викликом.

Тому доцільним є створення резервних складів, використання гнучких схем постачання, а також залучення цивільних ремонтних підприємств, які можуть діяти за військовими контрактами.

Проблемою залишається також моральне старіння техніки тилу, що потребує постійного оновлення парку машин і запровадження уніфікованих зразків. Це дозволить спростити ремонт, зменшити номенклатуру запасних частин і підвищити ремонтопридатність систем у цілому.

У перспективі необхідно створити єдину інформаційну платформу для управління технічним станом технічних засобів тилу. Вона має об'єднувати дані про ресурси, проведені ремонти, потреби у запчастинах та планові завдання, що забезпечить прозорість і контроль за виконанням ремонтних робіт на всіх рівнях управління.

Отже, система технічного обслуговування і ремонту техніки тилу вимагає глибокої модернізації, спрямованої на підвищення її адаптивності, автоматизації та стандартизації. Поєднання технічних інновацій, кадрового потенціалу та ефективної логістики здатне забезпечити стабільність функціонування тилу навіть в умовах тривалих бойових дій.

Це є запорукою успішного виконання завдань військами і підвищення загальної стійкості оборонної системи держави.

Список використаних джерел:

1. Козловський В. Організація технічного забезпечення військ. – К.: НУОУ, 2022.
2. NATO STANAG 2413. Maintenance Management. – Brussels, 2021.
3. Дьяків О. Технічне обслуговування військової техніки: сучасні підходи. – Військова наука, 2023.
4. Прохоренко П. Логістичне забезпечення військ у сучасних умовах. – Львів: АСВ, 2021.
5. Army Maintenance Operations Field Manual. – Washington D.C.: U.S. Department of Defense, 2020.
6. Головченко І. Цифрові системи моніторингу технічного стану. – Оборонна промисловість, 2023.
7. Левченко М. Автоматизація управління ремонтами військової техніки. – К.: МОУ, 2024.
8. NATO Logistics Handbook. – Brussels: NATO HQ, 2022.
9. Бойко В. Тил і матеріально-технічне забезпечення в умовах війни. – Харків: Університет ЗСУ, 2023.
10. Technical Maintenance and Repair Systems in Modern Armed Forces. – Defense Review, 2024.

Поляшов Сергій Володимирович *- старший викладач кафедри забезпечення військ (сил) Військової академії (м. Одеса). Україна, м. Одеса, вул. Фонтанська дорога буд.10.*

e-meil: sv1964pol@gmail.com, ORSID https:// orcid.org/0000-0002-7129-3117.

Литвиновський Сергій Анатолійович*-кандидат військових наук, доцент, доцент кафеди продовольчого та речового забезпечення Військової академії (м. Одеса). Україна,*

м. Одеса, вул. Фонтанська дорога буд.10. e-meil: litvinovskiy-serg@ ukr.net.

ORSID https://orcid.org/0000-0002-3950-9272

Sergii Polyashov *senior lecturer Military Academy (Odesa), departmentof support of troops (forces).Odesa, Ukraine, st. Fontanska doroga e-meil:sv1964pol@gmail.com.*

ORSID https:// orcid.org/0000-0002-7129-3117.

Litvinovsky Serhii *- Candidate of historical sciences, accosiate professor, accosiate professor Military Academy (Odesa), Department of Food and Material Supply. e-meil: litvinovskiy-serg@ ukr.net. ORSID https://orcid.org/0000-0002-3950-9272*

УДК 629.735.083.7

Осипова А. І., Василенко Р. В., Паращенко Т. В.

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ВЕРТИКАЛІ ТА КУРСУ МАНЕВРЕНОГО ПОВІТРЯНОГО СУДНА ДО СКЛАДУ ВІТЧИЗНЯНОГО БАГАТОЦІЛЬОВОГО ЛІТАКА

Анотація. *У статті розглянуто проблему застарілості платформних комплексів курсу та вертикалі ИК-ВК80, які характеризуються значними похибками, тривалим часом виставлення та низькою стійкістю до перевантажень. Запропоновано модернізований варіант на основі безплатформної інерціальної навігаційної системи з використанням акселерометрів Honeywell Q-Flex QA-300, резервних Jewell QFA-180 та кільцевих лазерних гіроскопів RL українського виробництва. Представлена архітектура передбачає адаптивну фільтрацію сигналів, дубльоване живлення та стійкість до механічних впливів. Результати моделювання підтвердили значне зменшення дрейфу, скорочення часу виставлення та підвищення точності орієнтації у динамічних режимах. Запропонований комплекс дозволяє підвищити бойову ефективність багатоцільових літаків, знизити експлуатаційні витрати та забезпечити технологічну незалежність авіаційних систем.*

Ключові слова: *інерціальна навігація, безплатформна інерціальна навігаційна система, акселерометр, гіроскоп, фільтр Калмана.*

Annotation. *The paper addresses the problem of outdated platform-based vertical and course systems (IK-VK80), which are characterized by significant drift, long alignment time and low resistance to overloads. A modernized solution is proposed based on a strapdown inertial navigation system integrating Honeywell Q-Flex QA-300 accelerometers, backup Jewell QFA-180 units and Ukrainian-made RL ring laser gyroscopes. The presented architecture includes adaptive signal filtering, redundant power supply and vibration isolation for enhanced robustness. Simulation results confirmed a significant reduction of drift, alignment time decrease to fractions of a second and improved orientation accuracy under dynamic maneuvers. The proposed system enhances the combat effectiveness of multirole aircraft, reduces operational costs and ensures technological independence of domestic avionics.*

Keywords: *inertial navigation, SINS, accelerometer, gyro, combat maneuvers.*

Надійна навігація є критичною складовою бойової ефективності маневрених літаків, проте існуючі на багатьох вітчизняних повітряних суднах платформні комплекси курсу та вертикалі (ИК-ВК80) вже не відповідають сучасним вимогам через значний дрейф гіроскопів, тривалий час виставлення, підвищену чутливість до вібрацій і перевантажень та великі масо-габаритні й енергетичні показники.

Найдоцільнішим технічним рішенням є перехід на безплатформну інерціальну навігаційну систему (БІНС), побудовану на основі тріади основних акселерометрів Honeywell Q-Flex QA-300 із резервною тріадою Jewell QFA-180 і комплектом вітчизняних кільцевих лазерних гіроскопів RL. Універсальна архітектура передбачає встановлення сенсорів у взаємно перпендикулярних осях на амортизованій платформі з віброізоляцією, дубльоване живлення та реалізацію алгоритмів адаптивної фільтрації (розширений/адаптивний фільтр Калмана) в обчислювальному модулі. Метою дослідження було оцінити вплив модернізації на точність відтворення вертикалі й курсу під час інтенсивних бойових маневрів, надійність ураження і експлуатаційну ефективність бойової платформи.

Моделювання модернізованої системи підтвердило суттєве зменшення темпу накопичення орієнтаційних похибок: зниження дрейфу в системі на порядок до трьох порядків у порівнянні з платформними рішеннями, скорочення часу виставлення системи до 0,1 с, зниження інтегральних помилок вертикалі і положення при інтенсивних маневрах. Запропонований комплекс дозволяє

підвищити бойову ефективність маневрених літаків за рахунок поліпшеної точності орієнтації у динамічних режимах, знизити експлуатаційні витрати та підвищити технологічну незалежність укомплектування авіоніки. Результати дослідження мають прикладне значення для програм модернізації вітчизняних багатоцільових літаків та можуть бути використані при розробці вимог до сенсорів і алгоритмів обробки даних для наступних поколінь повітряних платформ.

Запропонований комплекс дозволяє підвищити бойову ефективність маневрених літаків за рахунок поліпшеної точності орієнтації у динамічних режимах, знизити експлуатаційні витрати та підвищити технологічну незалежність укомплектування авіоніки. Результати дослідження мають прикладне значення для програм модернізації вітчизняних багатоцільових літаків та можуть бути використані при розробці вимог до сенсорів і алгоритмів обробки даних для наступних поколінь повітряних платформ.

Список використаних джерел:

1. Зарубін А. М. Інерціальні вимірювачі в авіоніці. – Харків: ХУПС, 2014. – 120 с.
2. Titterton D., Weston J. Strapdown Inertial Navigation Technology. – London: IEE, 2004. – 558p.
3. Технічна документація Honeywell Q-Flex QA-300.
4. Jewell Instruments. QFA-180 Accelerometer Datasheet.
5. Матеріали заводу «Арсенал» щодо лазерних гіроскопів RL.

Осипова Анастасія Іванівна *– слухач інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: osipovanasta861@gmail.com*

Василенко Роман Вікторович *– старший викладач кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 21029, email: spike75.rv@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001- 7683-7526*

Паращенко Тимур Васильович *– доктор філософії, провідний науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, інд. 18050, email: Liberian2009@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001-9908-4408*

Osypova Anastasia Ivanivna *– student from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e- mail: osipovanasta861@gmail.com*

Roman Viktorovich Vasylenko *– senior lecturer, Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, email: spike75.rv@gmail.com,, ORCID https://orcid.org/0000-0001-7683-7526*

Timur Vasilyovich Parashchenko– *Doctor of Philosophy, leading scientific scientist at the State Scientific Research Institute for Testing and Certification of New and Modern Technology, Cherkassy, email: Liberian2009@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0001- 9908-4408*

УДК 358.422::355.469

Ярош С. П., Гриценко П. М

ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОЦІЛЬОВИХ ЛІТАКІВ У СУЧАСНИХ ВОЄННИХ КОНФЛІКТАХ

Анотація.*Доповідь присвячена особливостям застосування багатоцільових літаків у сучасних воєнних конфліктах на прикладі трьох регіональних воєнних конфліктів: Індія – Пакистан, Ізраїль – Іран, Камбоджа – Таїланд та російсько-української війни. Досліджено бойовий склад задіяної авіації, типи використовуваних багатоцільових літаків, характер і тактику їх бойового застосування. Проаналізовано роль тактичних прийомів і способів, що вплинули на ефективність бойового застосування багатоцільових літаків у розглянутих конфліктах: ведення дальнього повітряного бою; групові дії з використанням систем обміну даними для передавання тактичної інформації та виконання узгоджених маневрів; координація з іншими родами військ.*

У кожному з конфліктів проаналізовано особливості бойового застосування за кількістю знищених об'єктів, втрат авіації та витрат авіаційних засобів ураження.

Ключові слова: *багатоцільовий літак, воєнний конфлікт, бойове застосування, повітряний бій.*

Abstract. *The report is devoted to the peculiarities of employment of multirole aircraft in contemporary armed conflicts, using three regional conflicts — India–Pakistan, Israel–Iran, Cambodia–Thailand — and the Russo-Ukrainian War as case studies. The combat composition of the deployed air forces, the types of multirole aircraft employed, and the character and tactics of their combat employment were examined. The role of tactical techniques and methods that influenced the effectiveness of multirole aircraft employment in the examined conflicts was analyzed; these include beyond-visual-range air combat, coordinated group actions using data-link systems to share tactical information and execute synchronized maneuvers, and coordination with other services.*

In each conflict, the specifics of combat employment were analyzed in terms of the number of targets destroyed, aviation losses, and the expenditure of air-delivered weapons.

Keywords: *multirole aircraft, armed conflict, combat employment, air combat.*

Вступ

На багатоцільові літаки (БЦЛ) в сучасних конфліктах покладається широкий спектр оперативно-тактичних завдань, включаючи завоювання переваги в повітрі, знищення важливих об’єктів противника, подавлення системи протиповітряної оборони (ППО) та підтримку наземних військ у наступі або обороні. [1]. Аналіз трьох ключових регіональних воєнних конфліктів сучасності: Індія–Пакистан, Ізраїль–Іран, Камбоджа–Таїланд та російсько–української війни (РУВ) демонструє відмінності у рівні інтенсивності бойових дій, технічному оснащенні сторін, а також у тактичних прийомах і способах застосування БЦЛ [2-8].

Воєнний конфлікт між Пакистаном та Індією ілюструє класичне протистояння двох держав з розвиненою бойовою авіацією. Воєнний конфлікт Ізраїлю та Ірану це приклад асиметричної війни, в якій перевага в технологіях та розвідці є вирішальною.

Воєнний конфлікт між Камбоджею та Таїландом підтвердив важливість авіаційного компонента навіть у конфліктах низької інтенсивності, у якому одна з сторін взагалі не має бойової авіації.

Російсько–українська війна це воєнний конфлікт високої інтенсивності, що характеризується кількістю сил (військ), які тривалий час застосовуються на оперативному та стратегічному рівнях збройного протиборства з явним або прихованим залученням збройних сил, озброєння (технологій) та розвідувальних можливостей союзних протиборчим сторонам держав. На цьому рівні інтенсивності у воєнному конфлікті переважно реалізуються цілі і інтереси регіонального і навіть більшого масштабу або цілі, які мають життєво важливе значення для кожної із сторін, що вступили у протиборство [9].

Порівняння таких воєнних конфліктів як Індія–Пакистан, Ізраїль–Іран, Камбоджа–Таїланд та російсько–української війни дозволяє виявити особливості застосування, що визначають роль і ефективність БЦЛ у воєнних конфліктах високої, середньої та низької інтенсивності [9].

Метою роботи є аналіз застосування багатоцільових літаків у сучасних регіональних воєнних конфліктах та виявлення особливостей їхнього бойового застосування залежно від характеру воєнного протистояння.

Результати дослідження

Воєнний конфлікт між Індією та Ісламською Республікою Пакистан (травень 2025 року) [2, 3].

Воєнний конфлікт між Індією та Ісламською Республікою Пакистан розгорнувся у період з 7 по 10 травня 2025 року. Повітряна операція "Вісь" ("Air Battle") почалася 7 травня після ударів індійських ВПС по об'єктах сепаратистських угруповань на території Ісламської Республіки Пакистан та у пакистанському Кашмірі. У бойовій фазі взяли участь приблизно 110–125 багатоцільових літаків з обох боків. Обидві сторони застосували широкий спектр БЦЛ четвертого покоління та модернізованих зразків.

Загальна оцінка.

Індія продемонструвала високу точність і глибину ударів, досягнуту завдяки використанню сучасного високоточного озброєння та ефективній координації дій.

Ісламська Республіці Пакистан досягла значної ефективності у повітряних боях поза візуальним контактом завдяки застосуванню літаків J-10C із ракетами PL-15, технічній підтримці з боку КНР та координації дій, між різними родами військ у межах системи обміну даними Link 17 [2]. (розроблена в Ісламській Республіці Пакистан мережа для інтеграції датчиків з повітря, наземних засобів і супутникових систем. Вона забезпечила зв'язок між літаками J-10C, ЕАРК (типу AWACS) і системою управління, що дозволило ефективно координувати дальні повітряні удари, залишаючись у безпечному просторі й не виявляючи свої наміри противнику) [3].

Згідно з офіційною заявою голови ВПС Індії, Ізміра Прит Сингха , в травні 2025 року Індія збила шість пакистанських військових літаків, включаючи п'ять винищувачів та один великий літак спостереження, ймовірно типу AWACS, за допомогою ракет "поверхня–повітря" із застосуванням зенітної ракетної системи С-400[3],. Крім того, були пошкоджені F-16 на стоянці та ще один літак спостереження SAAB-2000 AWACS.

Ісламська Республіці Пакистан категорично заперечила втрати літаків, заявивши про фальсифікацію даних, та закликала до незалежної перевірки своїх повітряних ресурсів [3].

Незважаючи на розбіжності в офіційних даних, загальний баланс сил свідчить про частковий тактичний успіх Ісламської Республіки Пакистан в повітрі, однак стратегічну ініціативу у конфлікті зберегла Індія.

Воєнний конфлікт між Ізраїлем та Іраном з 13 по 24 червня 2025 року [4, 5].

Воєнний конфлікт між Ізраїлем та Іраном тривав з 13 по 24 червня 2025 року. Повітряна операція "Rising Lion" розпочалася 13 червня масованими ударами ізраїльських ВПС по іранській ядерній інфраструктурі та об'єктах IRGC (Islamic Revolutionary Guard Corps Корпус вартових Ісламської революції). У бойовій фазі було задіяно понад 200 ізраїльських бойових літаків та ударну авіацію ВПС США, включно зі стратегічними бомбардувальниками і винищувачами п'ятого покоління [4].

Загальна оцінка

Ізраїль продемонстрував абсолютну перевагу у повітрі завдяки інтегрованому застосуванню БЦЛ F-35I "Adir", F-15I "Ra'am" і F-16I "Sufa" у поєднанні з РЕБ, супутниковою розвідкою, спецопераціями та високоточними авіаційними засобами ураження [5].

Іран фактично уникав відкритих повітряних боїв, роблячи ставку на масовані ракетні удари та удари БЛА по ізраїльських містах і військових об'єктах, що мали обмежений тактичний ефект.

Згідно з оцінками військових аналітиків, операція "Rising Lion" досягла основних цілей: суттєво знизила ядерний потенціал Ірану та продемонструвала ефективність одночасного або скоординованого застосування сил і засобів, взаємодії авіації, БЛА та наземних систем у сучасному воєнному конфлікті високої інтенсивності [11].

Воєнний конфлікт між Камбоджею та Таїландом (травень–липень 2025 року) [6].

Сторони мали значну авіаційну асиметрію: Таїланд володів сучасними багатоцільовими літаками, тоді як Камбоджа не мала бойової авіації.

Загальна оцінка

Конфлікт, що розпочався 28 травня 2025 року в районі “Смарагдового трикутника” та переріс у липні у широкомасштабні бойові дії, завершився перемир’ям 29 липня за посередництва Малайзії, США та КНР. Можна вважати, що Таїланд досяг переваги завдяки повітряному домінуванню, що забезпечило успішне ураження стратегічних об’єктів противника, підтримку власних наземних сил і обмеження маневреності камбоджійських підрозділів. Натомість Камбоджа, не маючи бойової авіації, зробила ставку на артилерійські удари та психологічний тиск, однак ці дії мали обмежену ефективність у контексті загального балансу сил. [6].

Російсько–українська війна (з 2022 по теперішній час) [7, 8].

Повномасштабна фаза російсько-українського воєнного конфлікту розпочалася 24 лютого 2022 року. Росія здійснила масштабне вторгнення на територію України одночасно з кількох напрямків Цей крок ознаменував різку ескалацію локальних бойових дії на Донбасі. Попри початковий план швидко зламати оборону, вторгнення зустріло запеклий опір ЗС України і переросло у затяжну широкомасштабну війну, що охопила більшу частину української території.

Загальна оцінка

Баланс сил знаходиться у постійній динаміці під впливом зовнішньої допомоги Україні та впровадження нових технологій. Якщо на початку війни домінування РФ було явним, то у 2023–2024 роках Україна суттєво зміцнила свій “повітряний щит” завдяки сучасним західним системам. Це мінімізувало результативність російських авіаударів – частка збитих Україною ракет і БЛА постійно зростала. Отримані Україною F-16 та “Mirage 2000-5” вже інтегруються у систему оборони і набувають ударних спроможностей. Ці літаки, оснащені РЛС та ракетами “повітря–повітря” великої дальності західного виробництва, здатні відтіснити російську авіацію від лінії фронту. Нова зброя дає ЗСУ можливість ефективніше знищувати повітряні і наземні цілі противника. На кінець 2025 року повітряна війна в Україні характеризується високим рівнем взаємного стримування. Російська авіація не досягла своїх стратегічних цілей через стійку та модернізовану систему ППО України, а українські Повітряні Сили за підтримки партнерів поступово нарощують потенціал для переходу від оборони до наступальних дій у небі. Цей фактор може суттєво вплинути на подальший хід конфлікту.

Висновки

Аналіз воєнних конфліктів Пакистан–Індія, Ізраїль–Іран, Камбоджа–Таїланд та Росія–Україна підтверджує, що багатоцільові літаки (БЦЛ) залишаються одним із ключових інструментів сучасних бойових дій. Їх ефективність визначається не лише льотно-технічними характеристиками, а й здатністю діяти в інтегрованому мережецентричному середовищі, досягаючи стратегічних результатів у поєднанні з далекобійними безпілотними літальними апаратами та ракетами.

Досвід показує, що успішність повітряних операцій забезпечується комплексним застосуванням авіації разом із безпілотними системами, засобами радіоелектронної боротьби та супутниковою розвідкою. У високотехнологічних конфліктах (Ізраїль–Іран, Пакистан–Індія) вирішальну роль відіграють ДПБ, стелс-технології, системи обміну даними та високоточна зброя, що дозволяє БЦЛ завдавати ударів без входження в зону дії ППО противника. В умовах повної авіаційної асиметрії (Камбоджа–Таїланд) БЦЛ забезпечують безперешкодне ураження стратегічних і тактичних цілей. В ситуаціях обмежених ресурсів однієї з сторін (Росія-Україна) БЦЛ застосовуються заощадливо переважно для завдання ударів далекобійною високоточною зброєю з рубежів недосяжних для авіації та засобів ППО противника.

Водночас тактика застосування БЦЛ в значній мірі залежить від спроможності противника наносити масовані удари крилатими ракетами (КР) та БЛА по аеродромах їх базувань. Майбутнє багатоцільової авіації полягає у поєднанні стелс-технологій, можливості вести ДПБ, мережецентричних технологій і високоточної зброї з активною інтеграцією у змішані повітряні групи, де пілотовані літаки виступають ядром, а БЛА підсилювачем їх бойового потенціалу.

Дослідження показало, що у конфліктах різної інтенсивності багатоцільові літаки виконують відмінні за змістом завдання. Тому актуальним є визначення такого складу бойової

авіації, який, з урахуванням умов України, забезпечить оптимальне формування парку БЦЛ для ефективного виконання оперативно-тактичних завдань

Список використаних джерел:

1. Multipurpose combat aircraft maximize versatility and efficiency in air warfare. URL: https://www.bundeswehr.de/en/multipurpose-combat-aircraft-maximize-versatility-and-efficiency-5632134 (date of access: 18.08.2025).
2. At least two Indian jets appear to have crashed during Pakistan strikes, visuals show. URL: https://www.washingtonpost.com/world/2025/05/09/fighter-jets-india-pakistan-attack (date of access: 30.08.2025).
3. Waldron G. India's Rafales deliver message to Pakistan, but leave room for de-escalationURL: https://www.flightglobal.com/fixed-wing/indias-rafales-deliver-message-to-pakistan-but-leave-room-for-de-escalation/162895.article (date of access: 18.08.2025).
4. Drones raining down in Israel-Iran conflict reveal new reality of modern war. URL: https://www.news.com.au/technology/innovation/military/drones-rain-down-in-israeliran/news-story/d0b5a5ece030abb54be5a1d2697a2a15?utm_source (accessed 30.08.2025).
5. Epstein J. The US military dropped new photos of the Operation Midnight Hammer B-2 Spirit bombers. Business Insider. URL: https://www.businessinsider.com/us-military-photos-show-operation-midnight-hammer-b-2-bombers-2025-6 (date of access: 18.08.2025).
6. Cambodia and Thailand conflict: How do their militaries compare. URL: https://www.google.com/search?q=Cambodia+and+Thailand+conflict%3A+How+do+their+militaries+compare (date of access: 30.08.2025).
7. Epic failure: Ukrainian drone strike hits bomber fleet. Financial Times. 2025. URL: https://www.ft.com/content/132e4327-11da-4412-b36b-7363604879e6 (date of access: 18.08.2025).
8. Russian Air Force (2025) Aircraft. URL: https://www.wdmma.org/russian-air-force.php (date of access: 18.08.2025).
9. Шмаков О.М. Словник офіцера внутрішніх військ з воєнно-наукових питань. 5-те вид., переробл. і доповн. Харків: Академія ВВ МВС України, 2009. 518 с.

Ярош Сергій Петрович *– доктор військових наук професор, професор кафедри тактики зенітних ракетних військ факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: syarosh@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0002-5208-9372.*

Гриценко Павло Миколайович *– ад'юнкт науково-організаційного відділу Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: phrytsenko23@gmail.com https://orcid.org/0009-0005-6235-4714.*

Yarosh Serhiy Petrovych *– Doctor of Military Sciences, Professor, Professor of the Department of Anti-Aircraft Missile Forces Tactics, Faculty of Anti-Aircraft Missile Forces, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: syarosh@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0002-5208-9372.*

Hrytsenko Pavlo Mykolayovych *– Adjunct Professor of the Scientific and Organizational Department of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: phrytsenko23@gmail.com https://orcid.org/0009-0005-6235-4714.*

УДК 000.000

Дігтярь М. М., Хмель Є. О.

КУРС-93М ЯК ПРІОРИТЕТНИЙ АНАЛОГ МОДЕРНІЗАЦІЇ НАВІГАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Анотація. *Розглядається один з способів модернізації навігаційного обладнання на повітряних суднах радянського періоду на сучасні засоби , адаптовані до міжнародних систем навігації. Дані засоби відрізняються від стандартів радянського періоду, забезпечують умови безпеки польотів згідно протоколів міжнародної організації ICAO[1].*

Ключові слова: *повітряне судно, навігація, стандарти, РСБН; ICAO; Курс-93М; VOR; ILS.*

Abstract. *In this thesis, one of the options for a priority analog replacement of onboard equipment is proposed — namely, the replacement of domestic Soviet-era RSBNs systems with the Kurs-93M, which will ensure safe and accurate flights, as well as compliance with the requirements of the international organization ICAO.*

Keywords*: aircraft, navigation, standards, RSBNs; ICAO; Kurs-93M; VOR; ILS.*

Сучасні збройні конфлікти доказують, що для досягнення вирішення бойових задач, які вирішуються авіацією, ключовим елементом являється наявність працездатних сучасних засобів.

Радіотехнічна системи ближньої навігації (РСБН), як елемент системи навігації, відіграє важливу роль у навігаційному забезпеченні польотів. Враховуючи вимоги стандартів і рекомендацій міжнародних організації цивільної авіації, зокрема ICAO, виникає необхідність модернізації існуючих навігаційних систем повітряних суден. В даний час проводиться робота по модернізації застарілої системи РСБН на військово - транспортних літака Ан-26[2].

Перспективна бортова система ―КУРС-93М‖ функціонально здатна до забезпечення польотів повітряних суден (ПС) (рисунок 1).

Рис.1.Зовнішній вигляд бортова система ―КУРС-93М‖

Система використовує сигнали радіомаяків VOR, забезпечує виконання передпосадкових маневрів і захід на посадку за сигналами радіомаяків системи ILS, а також для обробки сигналів маркерних радіомаяків з видачею інформації в цифровому форматі і у вигляді аналогових сигналів в бортові системи ПС.

Рис.2. Наземні радіомаяки системи ILS

Апаратура Курс-93М є одним із ключових елементів, який відповідає вимогам стандарту ICAO

(Doc 9718/ AN 957. Резолюція №413(ВКР) Використання полоси частот 108-117,975МГц повітряної рухомої (R) служби)[3]. На даний час запроваджене встановлення на літаках та вертольотах ПС: Су- 27-1М, МіГ-29, Ан-140, Ан-26, Мі-8. Даний факт засвідчує універсальність та ефективність використання даного пристрою.

Таким чином, застосування обладнання Курс-93М є важливим пріоритетним напрямком для розвитку авіаційних навігаційних систем[4]. Апаратура навігації і посадки ―Курс-93М‖ може працювати в режимах: ―VOR‖; ―ILS‖, що задовольняє вимоги норм ICAO, а отже дає змогу виконання польотів у навігаційному полі як України так і за її кордоном.

Список використаних джерел:

1. Суханов О.Ю., Ященок В.Ж., Краснорyцький А.О.Бортові Радіонавігаційні пристрої та системи. Частина 2. Радіотехнічні системи ближньої та дальної навігації: – Харків: ХУПС; 2015.
2. Трояновський А.Д., Клуга А.М., Цилькер Б.Я. Бортове обладнання радіосистем ближньої навигації. – Транспорт, 1990.
3. Doc 9718. Vol 1. Edition 2. Handbook on Radio Frequency Spectrum Requirements for Civil Aviation. Volume I. ICAO spectrum strategy, policy statements and related information. ICAO documents base | Aerostandard. URL: https://standart.aero/en/icao/book/doc-9718-v-1-handbook-on-radio-frequency- spectrum-requirements-for-civil-aviation-volume-i-icao-spectrum-strategy-policy-statements-and-related- information-en-cons (date of access: 28.04.2024).
4. Васильєв В.М., Радіонавігаційні системи: – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського; 2023.

Дігтярь Микола Миколайович *– старший викладач кафедри радіоелектронного обладнання літальних апаратів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків, вул.Сумська,77/79, інд. 61023 e-mail: info@hups.mil.gov.ua, ORCID https://orcid.org/0000-0001-9208-7593*

Хмель Єгор Олександрович *– слухач Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків, вул.Сумська,77/79, інд. 61023 e-mail: info@hups.mil.gov.ua, ORCID https://orcid.org/ 0009-0009-0222-5979*

Digtyar Mikolay M. *– Senior Lecturer of the Department of Radioelectronic Equipment of AircraftIvan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv,e-mail: nikdeg1960@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001-9208-7593*

Khmel Yehor *– listener of the Department of Radioelectronic Equipment of AircraftIvan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv,e-mail: nikdeg1960@gmail.com, ORCID https://orcid.org/ 0009-0009-0222-5979*

UDC [623.76:621.375.826](043.2)=111

Lavreniuk A. O., Vishchun I. V.

FEATURES OF THE COMBAT USE OF LASERS TO COMBAT DRONES

Анотація: *У статті розглянуто аналізує сучасні особливості бойового застосування лазерів для протидії безпілотним авіаційним системам (ПБАС) серед провідних військових держав. Розглядається перехід до високоенергетичних лазерів (ВЕЛ) як стратегічного рішення, що пропонує глибокий боєзапас та вигідне співвідношення вартості за знищення цілі проти зростаючої загрози безпілотників. Представлено сфокусований аналіз програм ПБАС та оперативного досвіду України, Росії, США, Китаю та Ізраїлю, з обов'язковим акцентом на оперативних реаліях, що спостерігаються у російсько-українській та ізраїльсько-палестинській війнах. Ключові висновки підкреслюють різницю між кінетичними засобами з лазерним наведенням та справжньою спрямованою енергетичною зброєю, виявляючи експлуатаційні обмеження, такі як деградація навколишнього середовища (Китай) та стратегічна двозначність щодо можливостей (Росія). Ізраїльська система Iron Beam демонструє значний прогрес на шляху до оперативної готовності проти дронів, тоді як США прагнуть до високопотужної інтеграції на військово-морських і наземних платформах.*

Ключові слова: *Спрямована енергетична зброя (СЕЗ), Протидія БАС (ПБАС), Високоенергетичні лазери (ВЕЛ), Iron Beam, Пересвєт, Silent Hunter, Військові технології, Асиметрична війна.*

Abstract: *The article analyzes the contemporary features of combat laser use for Counter-Unmanned Aircraft Systems (C-UAS) across major military powers. It examines the shift toward High-Energy Lasers (HEL) as a strategic solution offering deep magazines and favorable cost-per-kill ratios against proliferating drone threats. Focused analyses are provided for the C-UAS programs and operational experience of Ukraine, Russia, the United States, China, and Israel, with mandatory emphasis on the operational realities observed in the Russian-Ukrainian and Israeli-Palestinian conflicts. Key findings highlight the distinction between kinetic laser-guided effectors and true directed energy weapons, revealing operational constraints such as environmental degradation (China) and the strategic ambiguity surrounding capabilities (Russia). Israel's Iron Beam demonstrates significant progression toward operational readiness against drones, while the U.S. pursues high-power integration across naval and ground platforms.*

Keywords: *Directed Energy Weapons (DEW), Counter-UAS (C-UAS), High-Energy Lasers (HEL), Iron Beam, Peresvet, Silent Hunter, Military Technology, Asymmetric Warfare.*

I. Introduction:
The Exponential Rise of Directed Energy Weapons in Modern Warfare

The global proliferation of inexpensive, commercially derived, and militarily adapted Uncrewed Aerial Systems (UAS) has fundamentally destabilized the traditional economics of air defense. The contemporary battlefield, exemplified by conflicts in Eastern Europe and the Middle East, is saturated by drone threats – ranging from small reconnaissance platforms to long-range, one-way attack vehicles such as the Iranian-designed Shahed series. This asymmetry compels military forces to seek countermeasures that move beyond traditional kinetic missile systems.

The core problem facing established militaries is the unfavorable cost-exchange ratio. Utilizing expensive surface-to-air missiles (SAMs), which may cost millions of dollars, to intercept drones costing less than 50,000 USD is financially unsustainable. This economic dilemma is the primary strategic catalyst driving the intense global focus on Directed Energy Weapons (DEW), specifically High-Energy Lasers (HEL), for Counter-UAS (C-UAS) applications. Laser systems offer a theoretical "deep magazine," constrained only by power generation and cooling capacity, and a marginal cost-per-kill ratio approaching zero, defined only by the price of electricity. This recognition that DEW development is an economic imperative, rather than merely a capability upgrade, underscores why nations are fast-tracking these programs [1-3].

HEL C-UAS systems defeat threats through several distinct mechanisms. The hard-kill method involves delivering focused energy to the target at the speed of light, resulting in physical destruction.

This is achieved through thermal effects, such as direct ablation (vaporizing material), burning through the airframe or wings, or igniting critical flammable components like the fuel tank, batteries, or onboard warhead. For instance, certain Chinese systems claim the ability to penetrate 5 millimeters of steel at a range of 1,000 meters through ablation. Conversely, systems can operate in a lower-power, non-lethal mode. This dazzling mechanism targets and overwhelms the drone's sensitive electro-optical and infrared (EO/IR) sensors and navigational apparatus, effectively blinding the UAV and disrupting its mission without physically destroying the airframe [3-5].

Despite the profound economic and strategic advantages, the maturity of HEL technology is hampered by inherent physical constraints. The most significant technical challenge is mitigating atmospheric interference, particularly thermal blooming. Thermal blooming occurs when the laser beam heats the air immediately surrounding it, causing the beam's energy density to decrease and the focal point to spread. This phenomenon, along with general atmospheric turbulence and refractive index fluctuations, severely degrades the laser's effectiveness and limits its maximum effective range, especially in adverse weather conditions. This theoretical constraint finds empirical validation in operational deployment, where environmental factors become a critical inhibitor of performance. Furthermore, high-power HEL systems require highly efficient, powerful cooling mechanisms and reliable, continuous electrical power generation. Integrating these large, complex subsystems – power, cooling, and the beam director – onto mobile platforms without resulting in excessive size, weight, and power (SWaP) demands or high operational downtime remains a crucial engineering hurdle for fielding rugged, combat-ready C-UAS systems [6-8].

II. The Crucible of Conflict: Laser Applications in the Russian-Ukrainian War

The ongoing Russian-Ukrainian War provides an invaluable, high-intensity operational laboratory for C-UAS technologies, revealing a tactical necessity for solutions that prioritize cost-effectiveness. Crucially, the deployment of laser technology in this conflict must be categorized into two distinct types: true Directed Energy Weapons (DEW) and Laser-Guided Kinetic Solutions (LGKS).

Laser-Guided Kinetic Solutions as a Cost-Effective Bridge

Faced with massive, continuous attacks by low-cost Russian drones, Ukraine has rapidly adopted LGKS systems supplied by Western partners. These systems employ a laser not for energy projection, but for terminal guidance of a kinetic projectile. A prime example is the US-supplied L3Harris VAMPIRE (Vehicle-Agnostic Modular Palletized ISR Rocket Equipment). Mounted on tactical vehicles such as Humvees, VAMPIRE utilizes laser-guided 70-millimeter rockets, typically the Advanced Precision Kill Weapon System II (APKWS II), as its effector. The VAMPIRE system has been highly successful, reportedly shooting down hundreds of enemy drones and, significantly, achieving a substantial reduction in the "cost per effect" compared to traditional surface-to-air missile systems [1].

Similarly, Ukraine utilizes European-made LGKS, such as the Thales 70-millimeter laser-guided rocket. This system employs a specialized FZ123 airburst warhead. Upon proximity detonation, this warhead disperses thousands of steel pellets, creating an 80-foot diameter lethal cloud. This specialized kinetic design is optimized for countering high-volume, low-cost threats like the Shahed drone series (NATO Class II and Class III threats) and is particularly effective against drone swarms or tightly grouped formations. The widespread reliance on VAMPIRE and Thales LGKS systems confirms that, under the pressure of high-intensity, asymmetric conflict, military procurement immediately prioritizes reducing the interception cost, often settling on hybrid solutions as a necessary bridge until mature HEL systems become deployable [9].

The importance of these laser-guided solutions as an economic intervention on the battlefield is summarized below in table 1 [1; 9].

Table 1 – Laser-Assisted Kinetic Countermeasures in the Russia-Ukraine Conflict

System	Origin	Role in Ukraine	Effector Type	Laser Function	Cost-Effectiveness Insight
VAMPIRE	U.S. (L3Harris)	Mobile C-UAS against enemy drones (Shahed) and cruise missiles	70mm APKWS II (Laser-Guided Rocket)	Terminal Guidance (Illumination)	Greatly reduces cost per effect compared to traditional missile systems.
Thales FZ123	Europe (Thales)	Countering Shahed/Class II/III drones	70mm Laser-Guided Rocket (Airburst Warhead)	Terminal Guidance (Illumination)	Airburst warhead increases lethality against swarms, compensating for targeting imperfections.

Ukraine's Emergent Directed Energy Weapon: Tryzub

Beyond relying on kinetic laser-guided systems, Ukraine has reportedly moved toward fielding its own laser weapon system, dubbed 'Tryzub' (Trident). Colonel Vadym Sukharevskyi, Commander of the Ukrainian Unmanned Systems Forces, confirmed the deployment of Tryzub, claiming it can neutralize aerial targets, including drones, flying at altitudes over 6,500 feet (more than 2 kilometers) [10-11].

The development and deployment of Tryzub reflect Ukraine's urgent need to establish a true, low-marginal-cost C-UAS capability. The system's design emphasizes energy efficiency and operational flexibility, allowing for deployment in both stationary and mobile configurations. Colonel Sukharevskyi emphasized that the laser system "really works, it really exists," suggesting that the intense operational demands of the war have accelerated either rapid indigenous innovation or the critical acquisition and integration of foreign DEW technology. If operational, Tryzub moves Ukraine into a select group of nations possessing dedicated DEW capabilities, reflecting the profound strategic importance of rapidly acquiring a sustainable method to defeat the Russian drone threat [12].

III. Strategic Deployment and Capability Gaps: Russia's Directed Energy Arsenal

Russia has made highly publicized claims regarding its development and deployment of advanced laser systems, notably Peresvet and Zadira, though operational substantiation of the hard-kill capability remains highly contested, particularly in the context of the Ukrainian conflict.

Peresvet and Zadira: Propaganda vs. Performance

The Russian state narrative, advanced by officials such as Deputy Prime Minister Yury Borisov, divides their laser efforts into two categories based on function. The Peresvet system is described primarily as a non-lethal dazzling weapon, intended to blind or incapacitate enemy sensors, with Borisov claiming it can dazzle satellites in orbits up to 1,500 km. The Zadira system, however, represents the claimed leap to thermal destruction, with Borisov describing it as the "new generation" capable of physically destroying targets by burning them up. Specific, high-profile claims include Zadira successfully shooting down a Ukrainian drone in just five seconds at a distance of 5 kilometers [13-14].

Despite these bold claims and assertions of wide deployment, evidence confirming the operational effectiveness of Zadira as a thermal hard-kill system remains critically absent. Skepticism from military experts is widespread, and Ukrainian President Volodymyr Zelensky publicly dismissed the claims as propaganda, drawing comparisons to the German *Wunderwaffen* (wonder weapon) myths of World War II. Simultaneously, the Pentagon has stated that it has seen no evidence to corroborate Borisov's statements regarding the system's lethal capabilities [14].

Technological Immaturity and Foreign Dependence

The strategic ambiguity surrounding Russian domestic laser programs is further complicated by reports of reliance on foreign systems. Sources indicate that Chinese low-altitude laser defense

systems (LASS), potentially related to the Silent Hunter model, have been deployed by Russian forces in Ukraine as recently as May 2025 [8].

This reported use of exported Chinese laser systems, which themselves have documented limitations in environmental resilience and operational readiness (as detailed in Section V), strongly suggests that Russia's indigenous hard-kill HEL technology is either operationally immature, confined to low-power dazzling roles, or suffering from crippling deficiencies. If the Zadira system were truly capable of incinerating drones in five seconds, there would be no apparent military necessity to rely on a Chinese export system with known performance flaws. This dependency suggests that while Russia recognizes the critical need for a DEW C-UAS solution to address the volume of Ukrainian drone attacks, its domestic technology is currently unable to fill the gap effectively. The public claims, therefore, primarily serve a psychological and strategic posturing function rather than demonstrating a deployable technological reality.

IV. Technological Maturity and Naval Integration: The United States' High-Energy Laser Programs

The United States has adopted a robust, methodical, and multi-domain approach to DEW development, prioritizing high-power outputs and deep integration into existing military command and control architectures to ensure systemic combat effectiveness.

Naval Dominance: The HELIOS Program

The High Energy Laser with Integrated Optical-dazzler and Surveillance (HELIOS), developed by Lockheed Martin, is the centerpiece of the U.S. Navy's Surface Navy Laser Weapon System (SNLWS) Increment 1. HELIOS is designed to be fully integrated with ship combat systems, such as the Aegis architecture, providing a multi-mission capability that extends far beyond simple drone interception [3].

During factory testing, HELIOS consistently demonstrated full power operation above 60 kilowatts (kW). The system's scalable design architecture is intended to accommodate increased power levels in the future, positioning it as a long-term solution against evolving threats. A critical element of the HELIOS program is its dual functionality. It operates both as a lethal hard-kill weapon and as a non-lethal optical dazzling system (C-ISR Dazzler) and long-range Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (ISR) tool. This integrated, layered approach confirms that the U.S. DEW strategy does not see lasers merely as destructive weapons, but as tools capable of offering a graduated response. Blinding an enemy's reconnaissance drone, for example, degrades their targeting chain and provides a tactically valuable, non-lethal disruption that satisfies stringent rules of engagement. Furthermore, the system is guided by the fundamental principle of achieving a "low cost per kill" and a "favorable cost exchange ratio," highlighting the priority placed on economic sustainability in conflict planning [3].

Ground Force Capability: IFPC-HEL and HPM Integration

For ground forces, the U.S. Army is pursuing the Indirect Fire Protection Capability (IFPC) program, which includes both High Energy Laser (HEL) and High Power Microwave (HPM) components. The IFPC HEL, developed by Dynetics, is designed to protect fixed and semi-fixed critical assets against a wide range of aerial threats, including Cruise Missiles (CMs), UASs, and Rockets, Artillery, and Mortars (RAMs) [15].

The Army has set ambitious goals for power and mobility, planning to mount four operational prototypes of the 300 kW-class IFPC HEL onto tactical vehicles by Fiscal Year 2024. Successful testing has been reported, demonstrating the program's ability to proceed toward a transition to a Program of Record in FY2025. This pursuit of high-power mobile systems (300 kW class) signifies an effort to achieve lethal effects at tactically useful ranges against more complex, hardened threats [16].

In a key strategic decision emphasizing layered defense, the Army is developing the IFPC High Power Microwave (HPM) system in parallel. HPM systems, such as the Epirus Leonidas prototypes being delivered for testing , are specifically designed to provide short-range protection against small UAS swarm attacks. This dual development pathway demonstrates a crucial doctrinal understanding: the limitations of the HEL against saturation swarm attacks, where sequential targeting is highly inefficient, are compensated for by the broad-area effect and high efficiency of the HPM against

multiple targets simultaneously. This integration of HEL (precision, deep magazine) and HPM (area denial, anti-swarm) ensures that the US C-UAS architecture is robust against various threat vectors [15-16].

V. Export and Environmental Challenges: China's Silent Hunter and Low-Altitude Laser Systems

China has emerged as a significant global developer and exporter of fiber-optic laser technology for counter-drone applications, with systems like the Silent Hunter demonstrating initial capabilities but facing severe operational constraints upon deployment in challenging environments.

System Design and Mechanisms of Destruction

The Silent Hunter system, developed by Poly Technologies, uses an electrically powered fiber optic laser. Publicly reported specifications indicate that the power output falls within the range of 30 kW to less than 100 kW. The system is technically capable of achieving kinetic effects through thermal destruction, with claims that it can penetrate 5 millimeters of steel at 1,000 meters through ablation. Chinese academic literature further details the precise damage mechanisms employed by laser C-UAS, which include the deliberate irradiation of electro-optical reconnaissance sensors, burning the UAV's airframe structure (wings or fuselage), and critically, igniting flammable internal components such as fuel tanks or battery packs [4-5].

Operational Failure in Harsh Environments

The practical operational viability of China's exported C-UAS laser technology has been significantly challenged by documented failures in real-world deployment. A major case study involved the SkyShield integrated counter-drone system, which incorporates the Silent Hunter laser module, deployed in Saudi Arabia [7].

Reports from former Saudi military personnel revealed that the laser module struggled severely under the kingdom's harsh desert conditions. Environmental factors proved to be a practical operational kill switch. High ambient temperatures necessitated diverting substantial system power toward cooling rather than firing, reducing effective lethality. Furthermore, dust and sand disrupted the precision optical tracking required for continuous energy delivery. This environmental degradation translated directly into combat ineffectiveness, with operational experience showing that the Silent Hunter sometimes required between 15 and 30 minutes of continuous targeting to guarantee a drone kill – a timeframe that renders the system obsolete against modern, fast-moving, or swarm threats. This empirical data converts the theoretical atmospheric and cooling challenges into concrete operational limitations, confirming that current DEW technology is highly constrained by the environment and is not yet an all-weather solution [7].

Doctrinal Implications of Swarm Defense

The performance challenges of the Silent Hunter laser contrast sharply with the reliability of the overall SkyShield package's electronic jamming components, which proved more effective at neutralizing threats. This operational data aligns with Chinese military thought on countering large-scale threats. Chinese writings indicate a doctrinal preference for High Power Microwave (HPM) weapons over HEL systems for anti-UAV swarm operations. This preference is rooted in the HPM system's capacity for wide damage range, allowing it to target multiple drones simultaneously, thereby mitigating the HEL's limitation of requiring sequential, precise targeting against saturation attacks. Despite these limitations, Chinese LASS variants have been exported and reportedly deployed by Russian special forces in Ukraine and by the Iranian military in Tehran, highlighting the global spread of this technology even in its nascent stage [7-8].

VI. The Operational Imperative: Israel's Iron Beam and Counter-UAS Defense in the Gaza War Context

Israel has achieved the most significant and verified progress globally in transitioning a high-power laser C-UAS system from development to operational readiness, confirming the system's utility within a highly kinetic conflict environment.

Development and Integration into Layered Defense

The Iron Beam system, developed jointly by Rafael Advanced Defense Systems and Elbit Systems, is conceived as a high-power laser interceptor designed to work in conjunction with the existing kinetic Iron Dome system. Iron Beam is intended to address the persistent cost challenge posed by small threats, such as short-range rockets, mortars, and cheap drones, which would otherwise consume expensive kinetic Iron Dome interceptors (costing 100,000 to 150,000 USD per shot) [2].

Following an advanced series of operational tests conducted by the Directorate of Defense Research & Development (DDR&D), the Israeli Air Force, and Rafael, Iron Beam successfully intercepted a range of targets, including rockets, mortars, aircraft, and UAVs. These tests concluded the developmental process, and the system has been officially declared operational, with Rafael preparing to deliver the first full operational systems to the Israel Defense Forces (IDF) before the end of 2025. The system, renamed Or Eitan (Eitan's Light) in a symbolic gesture, is configured as a relocatable, self-supported module, housed in an ISO container with an adjacent generator [17-19].

Confirmed Combat Use in the Israeli-Palestinian Conflict

The most critical data point confirming the combat utility of laser C-UAS technology is Israel's validated deployment during the current conflict. During fighting on the northern front of the Israeli-Palestinian conflict, a *lower-powered version* of the Iron Beam system was utilized by the IDF and successfully shot down drones launched by Hezbollah from Lebanon [19].

This confirmed operational kill represents the highest degree of real-world validation available for a DEW C-UAS system globally, moving Iron Beam beyond the realm of prototypes and unverified claims. The tactic employed by the IDF – deploying a lower-powered version first – is a strategy of graduated fielding. It allows the military to rapidly integrate the system, refine tactical protocols, and gather crucial performance data against live threats, mitigating the risk associated with fielding complex, high-power systems immediately. This pragmatic approach has successfully demonstrated the laser's tactical viability against drone threats in a high-threat, active engagement environment.

VII. Conclusion:
Future Trajectories and the Tactical Reality of Battlefield Lasers

The features of combat use of lasers to combat drones are defined primarily by the urgent need to solve the cost-exchange ratio crisis triggered by drone proliferation. While directed energy weapons are heralded as the future solution, current deployments reveal a complex tapestry of confirmed operational success, strategic ambiguity, and severe environmental limitations.

Synthesis of Global Status and Doctrine

A comparative analysis of leading national programs reveals distinct developmental philosophies and operational statuses:

- **Israel** has achieved verified operational deployment (albeit with a lower-powered variant) against real drone threats in the Israeli-Palestinian conflict, leading the world in demonstrated maturity and tactical integration (Iron Beam) [19].
- **The United States** pursues high-power (300 kW class) systems integrated deeply into existing command architectures (HELIOS, IFPC-HEL). The U.S. strategy is characterized by a layered approach, utilizing both precision HEL and area-effect HPM to counter swarms and individual threats effectively [2; 16].
- **China** acts as a major DEW exporter, but the documented failures of the Silent Hunter in severe desert conditions provide irrefutable evidence that current commercial off-the-shelf (COTS) laser technology is highly susceptible to atmospheric and thermal degradation. Furthermore, Chinese doctrine indicates HPM may be preferred over HEL for effective anti-swarm operations [4; 7].
- **Russia** maintains an outward posture of advanced capability (Zadira, Peresvet), but the claims of hard-kill performance remain unverified and are contradicted by reported reliance on foreign Chinese laser systems in the Ukrainian theater [8; 14].
- **Ukraine** has rapidly adopted laser-guided kinetic effectors (LGKS) like VAMPIRE and Thales FZ123, systems that function as an essential, cost-effective bridge, confirming the immediate operational priority of drone interception economics [1; 9].

Table 2 – Comparative Analysis of Global High-Energy Laser C-UAS Systems

Country	Designation	Reported Power Class (kW)	Primary Role	Current Status	Salient Insight
United States	HELIOS	>60 kW (Scalable)	Naval Anti-Air/ C-UAS/ ISR Dazzler	Factory tested; nearing naval delivery (SNLWS Inc 1)	Integration into Aegis; focus on graduated response and scalability.
United States	IFPC HEL	300 kW (Class)	Mobile Ground C-RAM/ C-UAS	Prototype development; planned transition to Program of Record FY2025	Focus on high power (300kW) for kinetic effects against CMs and swarms.
Israel	Iron Beam (Or Eitan)	High-Power Laser	C-RAM/ C-UAS	Operational; lower-powered version successfully deployed against drones; full IDF delivery planned by late 2025	Verified combat kill confirmation in active conflict (Hezbollah drones).
China	Silent Hunter (SkyShield/LASS)	30 kW – 100 kW	Low-Altitude C-UAS	Exported/deployed (Russia, Iran, Saudi Arabia)	Fiber optic design; poor operational performance documented in harsh environments (dust, cooling issues).
Russia	Zadira	Undisclosed	Physical Destruction C-UAS	Claimed operational deployment in Ukraine	Claims of 5-second kill time at 5km remain highly disputed and uncorroborated.
Ukraine	Tryzub (Trident)	Undisclosed	C-UAS	Acquired/Fielded; reportedly shoots down targets >2km altitude	Represents an urgent operational integration/indigenous development.

Key Technological and Operational Barriers

The trajectory of battlefield laser use is still constrained by two significant physical hurdles. First is the power/cooling paradox. The requirement for high power output (e.g., 300 kW) necessitates vast electrical power generation and corresponding high-efficiency cooling systems, which dramatically increases the size, weight, and power (SWaP) demands of the system. This engineering compromise directly inhibits the system's mobility and limits operational runtime, forcing power to be diverted for cooling in high-temperature environments [7-8].

Second, atmospheric resilience remains paramount. The continued viability of lasers depends on overcoming environmental challenges like thermal blooming and distortion. Future progression requires highly advanced adaptive optics and beam conditioning technology capable of compensating for atmospheric fluctuations to maintain lethal energy density over extended ranges and under degraded visibility conditions. Until these fundamental engineering challenges are resolved, laser systems will continue to suffer from constrained engagement windows and reduced range capabilities [6].

Ultimately, the future of C-UAS combat use lies not in lasers replacing missile defense entirely, but in establishing HEL and HPM systems as the essential, low-cost, high-volume layer within a tiered air

defense architecture. The strategic and economic pressures exerted by widespread drone use ensure that the global focus on miniaturization, power efficiency, and atmospheric robustness will continue to drive DEW technology toward inevitable battlefield maturity.

REFERENCES

1. Entire Family Of VAMPIRE Counter-Drone Systems Unveiled. URL: https://www.twz.com/air/entire-family-of-vampire-counter-drone-systems-unveiled.
2. Iron Dome. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Iron_Dome.
3. More Than a Laser, HELIOS is an Integrated Weapon System. URL: https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2021/more-than-a-laser-helios-is-an-integrated-weapon-system.html.
4. PRC Concepts for UAV Swarms in Future Warfare. URL: https://www.cna.org/reports/2025/07/PRC-Concepts-for-UAV-Swarms-in-Future-Warfare.pdf.
5. Silent Hunter (laser weapon). URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Silent_Hunter_(laser_weapon).
6. Turbulence effects on high energy laser beam propagation in the atmosphere. URL: https://opg.optica.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-29-21-3088.
7. Chinese Laser Weapon Falters in Desert Trial: Source. URL: https://thedefensepost.com/2025/09/17/chinese-laser-falters-desert/.
8. The Geopolitical and Technological Implications of Chinese Low-Altitude Laser Defense Systems in Russian and Iranian Military Operations. URL: https://debuglies.com/2025/06/02/the-geopolitical-and-technological-implications-of-chinese-low-altitude-laser-defense-systems-in-russian-and-iranian-military-operations/.
9. Thales Anti-Drone Rockets Now Being Used In Ukraine. URL: https://www.twz.com/air/thales-anti-drone-rockets-now-being-used-in-ukraine.
10. Ukraine becomes latest country to deploy laser C-UAS weapon. URL: https://cuashub.com/en/content/ukraine-becomes-latest-country-to-deploy-laser-c-uas-weapon/.
11. Ukraine showcases laser-enabled targeting drone. URL: https://cuashub.com/en/content/ukraine-showcases-laser-enabled-targeting-drone/.
12. UKRAINE UNVEILS TRYZUB: A GAME-CHANGING DIRECTED ENERGY WEAPON. URL: https://55nda.com/blogs/anil-khosla/2025/02/17/603-ukraine-unveils-tryzub-a-game-changing-directed-energy-weapon/.
13. Does Russia's laser 'wonder weapon' exist? URL: https://www.dw.com/en/russias-laser-weapon-in-ukraine-does-it-exist/a-61883096.
14. Peresvet (laser weapon). URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Peresvet_(laser_weapon).
15. The U.S. Army's Indirect Fire Protection Capability (IFPC) System. URL: https://www.congress.gov/crs-product/IF12421.
16. The U.S. Army's Indirect Fire Protection Capability (IFPC) System. URL: https://www.congress.gov/crs_external_products/IF/PDF/IF12421/IF12421.5.pdf.
17. Israeli Anti-Missile Laser System 'Iron Beam' Ready for Military Use This Year | WION. URL: https://www.youtube.com/watch?v=uT2QcCz2Vus.
18. Iron Beam 450 Completes Testing, Soon to Join With Operational Air Defense Units. URL: https://defense-update.com/20250917_iron-beam-450.html.
19. Laser-based 'Iron Beam' interception system declared operational. URL: https://www.timesofisrael.com/laser-based-iron-beam-interception-system-declared-operational/.

Лавренюк Арсен Олександрович – слухач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e–mail: arsenlavreniuk@gmail.com.

Віщун Ігор В'ячеславович – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, viv@vntu.edu.ua.

Lavreniuk Arsen Oleksandrovich – student at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: arsenlavreniuk@gmail.com.

Vishchun Igor Vyacheslavovich – Lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: viv@vntu.edu.ua.

УДК 623.4

Ярмоленко М. В., Векленко Ю. А.

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ЗНОШУВАННЯ 120 ММ МІНОМЕТНОГО СТВОЛА ПІД ЧАС ТРИВАЛИХ ПОЛІГОННИХ ВИПРОБУВАНЬ ЗА ПЛАНОМ NRT

Анотація. *У тезі досліджується кінетика зношування мінометного ствола калібру 120 мм під час полігонних випробувань. Для дослідження використані дані, які отримані під час полігонних випробувань міномета МП-120 калібру 120 мм протягом 14 місяців при температурах навколишнього повітря від -12°С до +24°С за планом випробувань NRT (N=5000 пострілів зі ствола, Т=12 місяців, R означає, що мінометні постріли, які відмовили, замінюють новими). Щоденна кількість випробуваних мін змінювалась від 10 до 110 одиниць. Середній темп вогню був близько одного пострілу за хвилину. Інтенсивний темп вогню за першу, другу та третю хвилини випробувань в окремі дні складав 7 пострілів за хвилину. Загальна кількість випробуваних мінометних пострілів перевищила 5000 одиниць. За отриманими експериментальними результатами знайдено аналітичні формули залежності найбільшого та середнього діаметрів ствола від кількості пострілів, яка підтверджує, що ствол може витримати більше 10 тисяч пострілів до вичерпання свого ресурсу, який встановлений у межах 0,50 мм для найбільшого діаметру ствола та 0,40 мм для середнього діаметру ствола.*

Ключові слова: *міномет МП-120, живучість ствола, експериментальні дослідження, балістичні стрільби, проблеми зносу, емпіричні методи, аналітичні методи.*

Annotation. *In the thesis, 120 mm mortar barrel wear kinetics is investigated during field tests. The study used data obtained during 120 mm calibre MP-120 mortar field tests for 14 months at ambient temperatures from -12°C to +24°C according to the NRT test plan (N=5000 shots from the barrel, T=12 months, R means that failed mortar projectiles are replaced with new ones). The mortar shots daily number varied from 10 to 110. The average fire rate was about one shot per minute. The intense fire rate for the first, second and third tests minute was 7 rounds per minute on some days. The tested mortar projectiles total number has exceeded 5,000 units. Internal barrel diameter is measured at tests beginning and during field tests stages by mechanic equipment NI-50-160/1500-0.01. Internal barrel bore is viewed at tests beginning and during field tests stages by electronic internal viewer. The largest and average barrel diameters theoretical dependences on shots number are created by experimental results obtained. The dependence confirms that the barrel can withstand about 10 thousand shots before exhausting its resource that is set within 0.50 mm for the largest diameter increasing and 0.40 mm for average diameter increasing.*

Keywords: *mortar MP-120, barrel survivability, experimental research, ballistic firing, wear problems, empirical methods, analytical methods.*

На довговічність стволів стрілецької зброї впливає механічне зношування та змінювання термофізичних властивостей ствольної сталі, оскільки порохові гази створюють всередині ствола високий тиск величиною в сотні МПа та високу температуру величиною в тисячі Кельвінів.

Метод визначення коефіцієнту запасу міцності мінометних стволів за допомогою крешерних приладів запропоновано в роботі [1]. Отриманий у ході випробувань коефіцієнт запасу міцності мінометного ствола становив 1,9, що підтверджує загальні вимоги до стволів щодо подвійного запасу міцності по всій його довжині: максимальний тиск в каналі ствола 220 МПа і ефективний балістичний тиск при стрільбі на далекобійному заряді 118 МПа.

У ході випробувань 120 мм міномету на полігоні проводився контроль розмірів каналу ствола на ступень зношеності (ресурс) за таких умов: стрільба проводилася з дотриманням гранично допустимого режиму вогню штатним пострілом на далекобійному та змінних зарядах у співвідношенні 3:7; кожна стрільба на ступінь зношеності складалася із груп вогневого нальоту і методичного вогню; стрільба велася групами пострілів (30% пострілів при інтенсивному вогні та 70% пострілів при методичному вогні). Огляд і вимірювання ствола

включали: вимірювання каналу ствола на початку випробувань і в кожному циклі нутроміром індикаторним з відліковим пристроєм механічного типу НІ-50-160/1500-0,01 (клас точності 2) та огляд каналу ствола електронним ендоскопом. Обробка результатів вимірювань показала, що найбільший знос каналу ствола на відстані від дульного зрізу 970 – 1070 мм складає 0,26 – 0,29 мм за допустимої межі зносу по всій довжині каналу ствола 0,40 мм, а на окремих ділянках каналу ствола 0,50 мм (згідно з вимогами Інструкції з категорування стволів п.2.17 та додаток 5) [2].

Для мінометних стволів калібру 120 мм автори отримали за результатами полігонних випробувань такі формули для обчислення максимального та середнього збільшення внутрішнього діаметру каналу ствола залежно від кількості пострілів (рис. 1):

$$\Delta d_i^{(120мм)} = 2,02 \cdot 10^{-4} \cdot N_i^{0,855} \text{мм}; \quad \overline{\Delta} d_i^{(120мм)} = 4,04 \cdot 10^{-4} \cdot N_i^{0,72} \text{мм}. \tag{1}$$

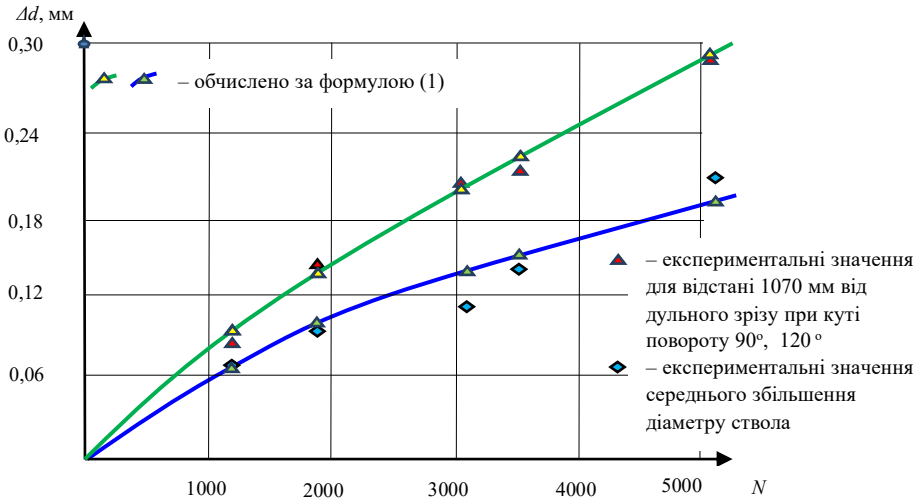


Рис. 1. Збільшення внутрішнього діаметру каналу ствола залежно від кількості пострілів.

Список використаних джерел:

1. Векленко Ю.А., Бардін О.А., Рудник М.В. Визначення коефіцієнта запасу міцності мінометних стволів з допомогою крешерних приладів. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*, 2019, Вип. 2. С. 47 – 52. 10.37701/dndivsovt.2.2019.07

2. Інструкція з категорування ракетно-артилерійського озброєння, яка затверджена наказом Міністра оборони України від 04 січня 2019 року № 4.

Ярмоленко Михайло Вікторович *– кандидат фізико-математичних наук, доцент, провідний науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси, Україна, e-mail: yarmolenko.mv@knutd.com.ua ORCID https://orcid.org/0000-0003-4332-1368*

Векленко Юрій Анатолійович *– старший науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси, Україна ORCID https://orcid.org/0000-0003-1658-0102*

Mykhaylo Yarmolenko *– PhD in Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Sertifications, Cherkasy, Ukraine, e-mail: yarmolenko.mv@knutd.com.ua ORCID https://orcid.org/0000-0003-4332-1368*

Yurii Veklenko *– Senior Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Cherkasy, Ukraine ORCID https://orcid.org/0000-0003-1658-0102*

УДК 355.6:623:658.58

Литвиновський С. А., Поляшов С. В.

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ТЕХНІКИ ТИЛУ (ПО СЛУЖБАХ ТИЛУ) ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНИХ БОЙОВИХ ДІЙ

Анотація.*В умовах сучасної війни, що характеризується високою інтенсивністю бойових дій, швидкою зміною оперативної обстановки та застосуванням високотехнологічних засобів ураження, ефективна система технічного обслуговування та ремонту техніки тилу (по службах тилу) є критично важливою для підтримання боєздатності військ. У тезах проаналізовано сучасні виклики та недоліки існуючої системи технічного обслуговування і ремонтутехніки тилу (по службах тилу), а також запропоновано комплекс заходів щодо її удосконалення з урахуванням досвіду ведення бойових дій. Основні напрями включають оптимізацію організаційно-штатної структури, впровадження сучасних технологій, покращення логістики та підготовки персоналу.*

Ключові слова: *техніка тилу, технічне обслуговування, ремонт, інтенсивні бойові дії, удосконалення, логістика.*

Abstract. *In modern warfare, characterized by high-intensity combat, rapidly changing operational environments, and the use of high-tech weaponry, an effective system of technical maintenance and repair for rear area equipment is critically important for sustaining military readiness . This thesis analyzes the current challenges and shortcomings of the existing system and proposes a set of measures for its improvement, taking into account recent combat experiences. Key directions for modernization include optimizing organizational structures, implementing modern technologies, enhancing logistics, and improving personnel training. The proposed solutions aim to significantly increase the efficiency and quality of repair work, reduce equipment downtime, and enhance the overall combat effectiveness of military units.*

Keywords: *rear area equipment, technical maintenance, repair, intense combat operations, modernization, logistics.*

Вступ

Ефективність військових операцій безпосередньо залежить від стану озброєння та військової техніки. Техніка тилу, до якої належать транспортні засоби, паливозаправники, польові кухні, засоби підвезення води, засоби щодо прання білизни та помивки особового складу, такі як мобільні лазньо-пральні комплекси (МЛПК), засоби інженерного забезпечення тощо, відіграє вирішальну роль у забезпеченні життєдіяльності військ. Утім, в умовах інтенсивних бойових дій існуюча система технічного обслуговування і ремонту технічних засобів (по службах тилу) стикається з низкою проблем, що потребують негайного вирішення.

Мета

Проаналізувати стан системи технічного обслуговування і ремонту техніки тилу (по службах тилу) Збройних Сил України в умовах інтенсивних бойових дій та розробити конкретні рекомендації щодо її удосконалення.

Результати дослідження

Система технічного обслуговування і ремонту техніки тилу (по службах тилу) є ключовим елементом боєздатності армії, забезпечуючи готовність і справність усіх видів військової техніки та озброєння. В умовах сучасної війни вона потребує постійного вдосконалення, оскільки мобільність, технологічність і інтенсивність бойових дій висувають нові вимоги до швидкості та якості ремонту.

Система технічного обслуговування і ремонту техніки тилу (по службах тилу) включає сукупність взаємопов'язаних заходів, засобів та виконавців, які забезпечують:

- Технічне обслуговування**:**

Регламентні роботи, що проводяться для підтримання техніки в належному стані, попередження несправностей і подовження терміну її експлуатації.

- Ремонт:

Відновлення справності техніки, яка вийшла з ладу. Ремонт може бути плановим (капітальний, середній) або позаплановим (поточний).

- Технічне забезпечення:

Планування, організація та виконання робіт з технічного обслуговування і ремонту, включно із забезпеченням запасними частинами, інструментами, обладнанням та кваліфікованим персоналом.

Під час проведення дослідження було запропоновано шляхи щодо удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту техніки тилу (по службах тилу), а саме:

1. Організаційно - штатна оптимізація.

- Запропоновано створення високо мобільних, багатофункціональних ремонтних груп, оснащених сучасним діагностичним обладнанням. Це дозволить мінімізувати час простою техніки тилу та зменшити логістичне навантаження на підрозділи. Крім того, наголошено на важливості гнучкої багаторівневої системи ремонту, що дозволяє швидко перерозподіляти ресурси між польовими, батальйонними, бригадними та стаціонарними ремонтними підрозділами.

- Створення нової раціональної організаційно-штатної структури.

- Оптимізація ремонтних підрозділів:

Формування мобільних ремонтних груп (майстерень), здатних оперативно прибувати на місце поломки, що мінімізує час простою техніки.

- Багаторівнева система ремонту:

Розмежування ремонтних робіт за рівнями складності — від польового ремонту силами екіпажу/механіка до капітального ремонту на спеціалізованих заводах і підприємствах.

2. Впровадження сучасних технологій та обладнання:

- Мобільні діагностично - ремонтні комплекси: Застосування компактних і універсальних засобів діагностики, що дозволяють швидко виявляти несправності в польових умовах.

- Адитивні технології (3D-друк):

Виготовлення на місці необхідних деталей, що особливо актуально для застарілих або рідкісних зразків техніки.

- Цифровізація та автоматизація:

Впровадження електронних баз даних для обліку техніки, запчастин, ремонту та технічного стану, що дозволяє ефективніше планувати та управляти процесами технічного обслуговування і ремонту.

3. Покращення логістики та забезпечення запасними частинами:

- Ешелонування запасів:

Створення військових, оперативних і стратегічних запасів матеріально-технічних засобів (МТЗ) та їх розміщення ближче до зони бойових дій.

- Уніфікація і стандартизація:

Перехід на стандарти НАТО в матеріально-технічному забезпеченні, що полегшує інтеграцію з союзницькими арміями та спрощує ремонт.

- Ефективна система розподілу:

Створення гнучких і швидких каналів постачання запчастин від виробника до ремонтних підрозділів.

Запропоновано запровадження інтегрованої системи управління логістикою, яка забезпечує прозоре відстеження переміщення запасних частин та матеріалів від виробника до кінцевого споживача. Ця система має базуватися на принципах ешелонування запасів та забезпечувати їх наявність на критично важливих напрямках.

4. Підготовка та підвищення кваліфікації персоналу:

- Система підготовки та перепідготовки:

Забезпечення безперервного навчання особового складу ремонтних підрозділів, особливо щодо нових зразків техніки.

- Досвід країн НАТО:

Запозичення передового досвіду та адаптація існуючих підходів до національних умов.

- Запропоновано розробити та впровадити оновлені навчальні програми для підготовки та перепідготовки особового складу ремонтних підрозділів з урахуванням нових технологій та сучасних зразків техніки.

5. Впровадження нових стратегій технічного обслуговування і ремонту**:**

- Технічне обслуговування за фактичним станом:

Перехід від планово - запобіжних ремонтів до обслуговування на основі моніторингу технічного стану техніки.

Це дозволяє раціональніше використовувати ресурси та уникати непотрібних робіт.

- Гнучкість та адаптивність:

Здатність системи швидко адаптуватися до змінних умов, особливо під час інтенсивних бойових дій, де можливі значні втрати техніки та пошкодження інфраструктури.

Висновок

Удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту техніки тилу (по службах тилу) має стати одним із пріоритетних напрямків розвитку Збройних Сил України. Впровадження

запропонованих заходів дозволить значно підвищити оперативність та якість ремонтних робіт, скоротити час простою техніки, збільшити її технічну готовність, що в кінцевому підсумку позитивно вплине на боєздатність військ.

Список використаних джерел:

1. Василенко В. І., Литвиненко А. В., Мальцев А. В. та ін. *Військова логістика: основи теорії та практики.* Київ: НУОУ ім. Івана Черняховського, 2018. 250 с.
2. Гаврилов В. В. *Організація та управління технічним забезпеченням військ: досвід АТО/ООС.* Харків: ХНУПС ім. Івана Кожедуба, 2020. 180 с.
3. Павленко С. В., Смагін О. В. Актуальні питання утримання та ремонту технічних засобів тилу військових частин Національної гвардії України. *Честь і Закон*. 2024. № 1. С. 83–91.
4. Майструк С. В., Миколюк О. С. Аналіз розвитку мобільних засобів технічного обслуговування та ремонту військової автомобільної техніки. *Соціальний розвиток та безпека.* 2021. № 1(1). С. 132–141.
5. Бойко А. Інформаційні технології в управлінні ремонтними процесами. – К., 2024.
6. Myroniuk, M., Mylnykov, H., Kolomiiets, Yu., & Yaroshenko, Ya. Prospects for developing the technical supply system of the leading NATO member countries' armed forces. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal*. 2024. Vol. 29. Pp. 36–45.
7. *NATO Logistics Handbook.* Third Edition. Brussels: NATO Headquarters, 1997.
8. Lucas, R., Arendt, M., & van Fenema, P. C. Supply Chain Resilience in Military Operations. *Scandinavian Journal of Military Studies.* 2025. Vol. 8, № 1. Pp. 1–25.
9. Al-Areqi, A., Mohammed, A. A., & Al-Qubati, M. Maintenance in availability of weapon systems under combat operation – Optimization possibilities. *ResearchGate.* 2019. doi:10.13140/RG.2.2.36531.07208.
10. Nogueira, A., Silva, M., & Fernandes, H. Integrating Emerging Technologies in Military Maintenance: Predictive Maintenance and 3D Printing for Enhanced Operational Readiness. *Directory of Open Access Journals*. 2024. Vol. 12.
11. Sookermany, A. *Handbook of Military Sciences.* Breda: Netherlands Defence Academy. 2021.

Литвиновський Сергій Анатолійович *– кандидат військових наук, доцент, доцент кафеди продовольчого та речового забезпечення Військової академії (м. Одеса). Україна, м. Одеса, вул. Фонтанська дорога буд.10. e-meil: litvinovskiy-serg@ ukr.net. ORSID https://orcid.org/0000-0002-3950-9272.*

Поляшов Сергій Володимирович *– старший викладач кафедри забезпечення військ (сил) Військової академії (м. Одеса). Україна, м. Одеса, вул. Фонтанська дорога буд.10. e-meil: sv1964pol@gmail.com, ORSID https://orcid.org/0000-0002-7129-3117.*

Litvinovsky Serhii *– Candidate of historical sciences, accosiate professor, accosiate professor Military Academy (Odesa), Department of Food and Material Supply. e-meil: litvinovskiy-serg@ ukr.net. ORSID https://orcid.org/0000-0002-3950-9272.*

Sergii Polyashov *– senior lecturer Military Academy (Odesa), departmentof support of troops (forces).Odesa, Ukraine, st. Fontanska doroga e-meil:sv1964pol@gmail.com. ORSID https://orcid.org/0000-0002-7129-3117.*

УДК 358+531.8

Ісмаілова Н. П., Мікрюков І. С., Бикова Л. Г.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КОНСТРУЮВАННЯ СПРЯЖЕНИХ КІНЕМАТИЧНИХ ПАР ЗУБЧАТОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ У ВІЙСЬКОВІЙ ТЕХНІЦІ ДЛЯ УСУНЕННЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ

Анотація. *В умовах сьогодення, що значною мірою впливає на складну економічну ситуацію в сучасному воєнно-промисловому комплексі України, зумовленої воєнним станом, особливої значущості набуває проєктування виробів для озброєння та військової техніки. Зокрема оптимізації потребує технічне рішення щодо підвищення точності проєктування спряжених зубчастих зачеплень за умови відсутності інтерференції. Для розв'язання порушеної проблеми необхідно передусім дослідити явища інтерференції в проєктуванні спряжених зубчастих зачеплень кінематичних пар, а також перетворення вихідної криволінійної контактної поверхні між профілями зубів, що, у свою чергу, дозволить виключити інтерференцію ще на стадії розроблення деталей для озброєння та військової техніки.*

Надійність і довговічність сучасних складових вузлів і агрегатів озброєння і військової техніки, до складу яких входить значна кількість елементів зі складними спряженими криволінійними поверхнями зубчастого зачеплення, значною мірою залежать від точності їх виготовлення. У процесі моделювання кінематичних пар з такими поверхнями часто виникають складнощі, особливо у випадках, пов'язаних зі створенням зубчастих елементів. Це зумовлює актуальність розробки ефективного методу моделювання профілю багатозаходної черв'ячної фрези, призначеної для обробки спряжених криволінійних зубчастих поверхонь з урахуванням виключення інтерференції вже на етапі проєктування. Запропоновані технічні рішення дозволить не лише вдосконалити процес моделювання, а й підвищити точність виготовлення зубчастих коліс і загальну ефективність виробничих процесів із використанням такої фрези.

Ключові слова: *технічне рішення, технологічний процес моделювання, спряжені поверхні, параметризація, інтерференція.*

Annotation. *In today's conditions, which are significantly influenced by the difficult economic situation in the modern military-industrial complex of Ukraine, caused by martial law, the design of products for weapons and military equipment is of particular importance. In particular, a technical solution to increase the accuracy of the design of mating gears in the absence of interference requires optimization. To solve the problem raised, it is necessary, first of all, to investigate the phenomena of interference in the design of conjugate gear engagements of kinematic pairs, as well as the transformation of the initial curvilinear contact surface between the tooth profiles, which, in turn, will allow eliminating interference even at the stage of developing parts for weapons and military equipment.*

The reliability and durability of modern components and assemblies of weapons and military equipment, which include a significant number of elements with complex conjugate curved surfaces of gear engagement, largely depend on the accuracy of their manufacture. Difficulties often arise in the process of modeling kinematic pairs with such surfaces, especially in cases related to the creation of toothed elements. This makes it urgent to develop an effective method for modeling the profile of a multi-start worm milling cutter designed for machining conjugate curved tooth surfaces, taking into account the elimination of interference already at the design stage. The proposed technical solutions will not only improve the modeling process, but also increase the accuracy of gear manufacturing and the overall efficiency of production processes using such a milling cutter.

Keywords: *technical solution, technological modeling process, conjugate surfaces, parameterization, interference.*

Сучасні технічні рішення, сучасні методи, сучасні інструменти – на цьому базується найновіші технології виготовлення деталей необхідних для виробництва нових виробів у

механізмів з’єднання у військової техніці та озброєння, які дуже важливі у теперішній не зовсім простий час для нашої країни.

Нові сучасні технічні рішення по моделюванню виробів у механізмах військової техніці та озброєння які потребують найбільш новіше і точне автоматизоване виготовлення відносно своїх складних параметрів формоутворення, що приводить для необхідності застосування нових технологій у проектуванні обладнання, які відбувається за допомогою новітніх комп’ютерних програм та технологій на технічному сучасному рівні.

Розв’язання технічних та науково-прикладних проблем, при розробці способу моделювання ріжучого інструменту та зубчастих зачеплень широкого класу, є основною задачею виробництва при обробці криволінійних поверхонь деталей та механізмів. Розв’язання цих проблем, відбувається за допомогою автоматизації основаній на параметричному моделюванні спряжених криволінійних поверхонь. Подальше вдосконалення технічного рішення моделювання спряжених криволінійних поверхонь дозволить розробити загальніші алгоритми, що охоплюють певні види інструментів.

Організація новітнього, ефективного та здатного до конкуренції виробництва, яке враховує потреби споживачів, неможлива без використання технологій, що йдуть в ногу з часом. Неперервна робота такого обладнання вимагає не лише висококваліфікованого обслуговування та досвідчених операторів і налаштувальників, а й ретельного технічного процесу. Різні галузі сучасної промисловості застосовують величезну кількість різноманітних систем і розробок на верстатах із числовим програмним управлінням, спрямованих на досягнення високої продуктивності праці при виготовленні деталей складної форми, зокрема при розробці і виготовленні вузлів і агрегатів військової техніки та озброєння. Кінематичні пари зубчастого зачеплення у механізмах це криволінійний рух, який відіграє важливу роль у вирішенні завдань конструювання деталей для військової техніки та озброєння.

У сучасних системах автоматичної параметризації при проєктуванні складних виробів в озброєнні та військовій техніці, все більш широко застосовують побудови спряжених моделей криволінійних поверхонь. Це дає потужний поштовх для розвитку проєктування спряжених поверхонь і стимулює пошуки нових шляхів удосконалення технологічних процесів виготовлення деталей на верстатах з інформаційно-керуючою системою. Зокрема, це стосується технологічних операцій на верстатах з числовим програмним управлінням. Одним із головних напрямків моделювання кінематичних пар, слід вважати вивчення та конструювання форм поверхонь у тісному взаємозв'язку з тими умовами роботи конструкцій в озброєнні та військовій техніці, у яких планується їх використовувати. Вироби з складними криволінійними поверхнями, що виключають інтерференцію при проєктуванні впливають на надійність і довговічність роботи механізмів в озброєнні та військовій техніці, тому вимагають ретельніше враховувати зовнішні умови.

Форма криволінійних поверхонь у військовій техніці та озброєнні визначається формоутворюючими поверхневими лініями спряжених кінематичних пар. У зв’язку з цим доцільно застосовувати проєктування на основі теорії параметричного кінематичного гвинта, що дозволяє формувати складні траєкторії руху інструмента під час обробки деталей. Сумісність із більшістю сучасних систем числового програмного керування забезпечує широкі можливості для обробки складних поверхонь.

Профіль заданий якось кривою і центроїдою може розглядатися довжиною дуги на центроїді від початкової точки (точки відповідають початку відносного руху) буде залежати від параметрів руху. Якщо розглядати будь-яку точку профілю як положення любої точки на центроїді в певний момент часу, то вся крива уявлятиме собою траєкторію цієї точки.

Введемо дві системи координат: нерухому задану одиничними векторам і рухливу, задану також одиничним вектором дотичними до центроїди і одиничним вектором нормалі, то набір векторів здасте нам трикутник. Тоді точка відносно нерухомої системи координат знаходиться в складному русі, який є сумою відносного і переносного рухів. Як відомо з курсу теоретичної механіки, абсолютною швидкістю цієї точки є похідна її радіусу – вектора за часом, і спрямована по дотичній до траєкторії точки на центроїді, тобто по дотичній до кривої. При зміні часу точка на кривої буде переміщуватися по кривій, яка дотична до центроіді, внаслідок цього довжина дуги даної кривої від початкової точки, що відповідає початку відліку часу, до точки на центроіді, буде залежати від часу. Використовуючи цей закон довільно,

отримаємо криву дотичної до центроїди. Крива з плином часу, причому швидкість не змінить ні величини, ні напрямок, так як закон руху точки на центроїді в нерухомій системі координат не змінився. Тоді в будь-який момент часу можна визначити векторну довжину, а значить і її функцію. Таким чином, точка на центроїді при всіх цих змінах буде описувати одну і ту ж криву, вектор швидкості залишається незмінним, так як вона справедлива для будь-якого закону радіуса, оскільки нас цікавить направляючий вектор дотичної.

Підсумуючи, технологічний процес, який базується на такому технічному рішенні, дає змогу отримати потрібну модель ще на етапі моделювання виробу і запобігає інтерференції під час їх виготовлення. Це також дає можливість встановити конфігурацію спряжених криволінійних кінематичних поверхонь конструкції та особливості їх руху при роботі механізмах у військовій техніці та озброєнні.

Список використаних джерел:

1. Подкорытов А. Н. Исключение интерференции сопряженных поверхностей зубчатых передач. INTERNATIONAL CONGRES–GEAR TRANSMISSIONAL. Sofia–BULGARIA, 1995. С. 143–145.

2. Podkorytov A. Theoretical bases of conjugate quazihelical surfaces, excluding interference // 10th Intern. Conf. on Engineering Design Graphios and Descriptive Geometry. Texas, USA, Austin, 2002. Vol. 1. P. 43–47.

3. Подкоритов А. М., Ісмаілова Н. П. Загальний ітераційній метод виключення інтерференції спряжених квазігвинтових поверхонь. Сучасні проблеми моделювання. Мелітополь. Мелітопольський держ. пед. ун-т. 2016. Вип. 5. С. 98–103. URL: http://magazine.mdpu.org.ua/index.php/ spm/article/view/1488.

4. Havrylenko Y., Kholodniak Y., Vershkov O., Naidysh A. Development of the method for the formation of one-dimensional contours by the assigned interpolation accuracy. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 1, Iss. 4(91). P. 76–82. URL: http://eprints.mdpu.org.ua/id/eprint/5375.

5. Ismailova N., Bogach V., Lebedev B. Development of a technique for the geometrical modeling of conjugated surfaces when determining the geometrical parameters of an engagement surface contact in kinematic pairs. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Харків. Технологічний центр. 2020. 1/4(106), (106). P. 17–22. URL: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/154191.

Ісмаілова Неллі Петрівна *– доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної механіки факультету підготовки спеціалістів ракетно - артилерійського озброєння Військової академії (м. Одеса), м. Одеса, Фонтанська дорога 10, інд. 65009, Email: nelly969@ukr.net, ORCID.org/0000-0003-0181-4420.*

Мікрюков Іван Станіславович *– ад'юнкт науково-організаційного відділу Військової академії (м. Одеса), м. Одеса, Фонтанська дорога 10, інд. 65009, Email: ivan.mikriukov.777@gmail.com, ORCID.org/0009-0001-4303-4038.*

Бикова Лариса Григорівна *– ад'юнкт науково-організаційного відділу Військової академії (м. Одеса), м. Одеса, Фонтанська дорога 10, інд. 65009, Email: armagedon3283@ukr.net, ORCID.org/0000-0001-7360-0240.*

Nelly Petrovna Ismailova – *Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Engineering Mechanics, Faculty of Training of Specialists in Rocket and Artillery Armaments, Military Academy (Odessa), Odessa, Fontanska doroga 10, ind. 65009, Email: nelly969@ukr.net, ORCID.org/0000-0003-0181-4420.*

Ivan Stanislavovich Mikryukov – *Adjunct Professor of the Scientific and Organizational Department of the Military Academy (Odessa), Odessa, Fontanskaya doroga 10, ind. 65009, Email: ivan.mikriukov.777@gmail.com, ORCID.org/0009-0001-4303-4038.*

Larisa Hryhorivna Bykova – *Adjunct Professor of the Scientific and Organizational Department of the Military Academy (Odessa), Odessa, Fontanska doroga 10, ind. 65009, Email: armagedon3283@ukr.net, ORCID.org/0000-0001-7360-0240.*

УДК 629.7.069

Малеєва А. М., Власюк Д. В., Георгієв Ю. В.

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ В АВАРІЙНУ СИСТЕМУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ЛІТАКА «РОЗУМНИХ» АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

Анотація: *у тезі розглянуто технічні та експлуатаційні аспекти модернізації аварійної системи електропостачання постійного струму багатоцільового винищувача МіГ-29 шляхом інтеграції «розумних» акумуляторних батарей типу, аналогічного до застосованих у безпілотних апаратах Bayraktar TB2. Проведено порівняння характеристик традиційних нікель-кадмієвих акумуляторів із сучасними літій-іонними системами, проаналізовано можливості впровадження системи керування живленням (BMS) у наявну електросистему літака.*

Ключові слова: *МіГ-29, аварійна система, електропостачання, «розумна» батарея, BMS, Bayraktar TB2.*

Abstract: *the paper presents technical and operational aspects of modernizing the DC emergency power supply system of the multipurpose fighter MiG-29 through the integration of smart battery systems similar to those used in UAVs like Bayraktar TB2. The comparison between traditional nickel-cadmium and modern lithium-ion batteries is carried out, and the feasibility of integrating a Battery Management System (BMS) into the aircraft's existing power grid is analyzed.*

Keywords: *MiG-29, emergency system, power supply, smart battery, BMS, Bayraktar TB2.*

Авіаційні системи електропостачання є критично важливою складовою забезпечення надійності польотів, особливо для бойових літаків типу МіГ-29, що виконують завдання в умовах інтенсивних навантажень. Аварійна система електропостачання постійного струму призначена для підтримання працездатності найважливіших бортових систем у разі відмови основних джерел живлення. У базовій конструкції літака МіГ-29 використовуються нікель-кадмієві акумулятори типу 20НКБН або їх аналоги. Вони мають відносно низьку питому енергоємність (35–40 Вт·год/кг), значну масу та вразливість до температурних коливань. Ці фактори призводять до зниження надійності в бойових умовах, збільшення обсягу технічного обслуговування та зменшення ефективності використання електроенергії.

Водночас сучасні технології енергозабезпечення, які впроваджуються в безпілотних літальних апаратах, зокрема Bayraktar TB2, демонструють суттєво вищу ефективність. У цих апаратах застосовуються літій-іонні акумулятори з інтегрованою системою керування (BMS – Battery Management System), яка виконує функції контролю заряду, напруги, струму, температури та загального стану елементів. Система BMS здатна автоматично відключати окремі комірки у разі їхнього перегріву або короткого замикання, запобігаючи аваріям та займанням. Крім того, вона передає дані на центральний контролер, що дозволяє екіпажу або автоматичній системі своєчасно реагувати на позаштатні ситуації.

Порівняння Ni-Cd і Li-Ion батарей показує такі переваги останніх:
– енергоємність зростає у 2–2,5 рази;
– маса зменшується на 20–30 %;
– термін служби збільшується у 2–3 рази;
– ефективність заряджання сягає 95 %;
– рівень саморозряду не перевищує 3 % на місяць.

Для впровадження «розумних» батарей у систему МіГ-29 необхідно врахувати кілька ключових аспектів. По-перше, це сумісність з існуючою мережею постійного струму 27В. Bayraktar TB2 використовує подібний рівень напруги, що спрощує інтеграцію. По-друге, необхідна розробка адаптера перетворення та узгодження сигналів між BMS і бортовим комп'ютером літака. Цей адаптер має забезпечити стабільну взаємодію між системою керування батареєю та основною енергомережою літака. По-третє, модернізація повинна враховувати умови підвищених вібрацій, перепадів температури (від –50 до +50 °С) та вимоги до електромагнітної сумісності.

У процесі проєктування нової системи електроживлення необхідно передбачити модуль діагностики стану батарей, який зможе виводити інформацію на індикатори кабіни пілота. Це забезпечить виявлення потенційних відмов на ранніх стадіях та знизить ризик повного знеструмлення при польоті. Додатково, програмне забезпечення BMS має бути адаптоване під специфіку авіаційного середовища з урахуванням стандартів MIL-STD для авіоніки.

Впровадження «розумних» батарей у МіГ-29 дозволить значно підвищити рівень енергетичної автономності літака. У разі відмови генератора або пошкодження електромережі, система зможе самостійно підтримувати критичні прилади – навігацію, зв'язок, аварійне освітлення та елементи управління – протягом 15–20 хвилин, що є критично важливим для повернення на базу або завершення бойового завдання. Окрім того, BMS може забезпечити віддалене відстеження технічного стану батарей через наземний пункт технічного обслуговування, що оптимізує регламентні перевірки.

Подальший розвиток технологій енергозабезпечення в авіації свідчить про поступовий перехід до концепції «електрифікованого літака», у якій більшість допоміжних систем переходять на електричний привід. У цьому контексті впровадження «розумних» акумуляторних батарей у систему аварійного електропостачання МіГ-29 є не лише окремим технічним удосконаленням, а й важливим етапом підготовки до комплексної модернізації авіоніки. Використання таких технологій сприятиме підвищенню рівня автоматизації контролю та діагностики стану енергосистеми літака, що відповідає тенденціям розвитку авіаційної техніки країн-членів НАТО.

Досвід експлуатації безпілотного літального апарата Bayraktar TB2 показав високу ефективність застосування інтелектуальних акумуляторних систем із вбудованою BMS. Ця технологія забезпечує стабільну роботу апарата навіть у складних кліматичних умовах, дає змогу точно відстежувати стан кожної комірки батареї в реальному часі та автоматично балансувати заряд. Завдяки цьому вдалося значно підвищити надійність польотів і зменшити ризик відмов через перегрів або перевантаження. Для МіГ-29 адаптація подібних принципів дозволить створити ефективну, «самодіагностуючу» систему аварійного живлення, яка реагуватиме на позаштатні ситуації без участі пілота. Крім того, використання алгоритмів, подібних до тих, що реалізовані в Bayraktar TB2, відкриває можливість застосування віддаленого моніторингу технічного стану батарей із наземних пунктів технічного обслуговування.

Застосування літій-іонних батарей із системою BMS дозволить реалізувати принцип інтелектуальної взаємодії між усіма енергоспоживачами літака. У перспективі це відкриє можливість створення «енергетичного профілю місії», коли розподіл потужності між системами управління, зв'язку, навігації та озброєння здійснюватиметься автоматично залежно від етапу польоту чи бойового завдання. Подібні рішення вже активно впроваджуються у сучасних зразках авіаційної техніки, зокрема в літаках F-35 та безпілотних комплексах нового покоління.

Крім того, перехід на «розумні» батареї сприятиме підвищенню технологічної незалежності авіаційної галузі України. Розробка та виробництво власних енергомодулів на базі літієвих елементів може стати частиною національної програми імпортозаміщення, що забезпечить Збройні Сили України сучасними та безпечними джерелами живлення. Це також створить передумови для розвитку наукових досліджень у сфері енергетики та електроніки, залучення вітчизняних підприємств до спільних проєктів із модернізації бойових літаків.

З огляду на тенденції розвитку світової авіації, можна прогнозувати, що в найближчі роки роль інтелектуальних систем керування енергопостачанням зростатиме. Їхнє впровадження дає змогу не лише підвищити надійність польоту, а й зменшити вплив людського чинника, що особливо важливо під час виконання складних бойових завдань. У майбутньому такі технології можуть стати базою для створення повністю автономних енергосистем літаків, які самостійно розподілятимуть ресурси, прогнозуватимуть можливі відмови та забезпечуватимуть максимальну ефективність роботи обладнання.

Отже, модернізація аварійної системи електропостачання МіГ-29 шляхом використання «розумних» літій-іонних батарей із системою BMS є не лише технічно можливою, але й стратегічно виправданою. Вона забезпечує зростання надійності, підвищення безпеки польотів, зниження маси, енергоспоживання та витрат на обслуговування. Запропоновані технічні рішення відкривають шлях до подальшої електрифікації авіаційних систем і створення адаптивних енергетичних платформ для сучасної військової авіації.

Список використаних джерел:

1. Кононов Б.Т., Лагутін Г.І. Електричні машини. – Х.:ХНУПС, 2015
2. https://baykartech.com/en/uav/bayraktar-tb2/
3. https://plus.shephardmedia.com/detail/bayraktar-tactical-uas/
4. Зєнович О.Є., Кривонос В.М. Системи електропостачання повітряних суден. – Х.: ХНУПС, 2021.

Малеєва Аліна Миколаївна *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail:alinka20.16maleeva@gmail.com;*

Власюк Дмитро Володимирович *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: dimasvlasiuk@gmail.com;*

Георгієв Юрій Вікторович *– Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966.*

Maleieva Alina Mykolaivna- *cadet from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: alinka20.16maleeva@gmail.com*

Vlasiuk Dmytro Volodymyrovych - *cadet from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: dimasvlasiuk@gmail.com;*

Georgiev Yuriy Viktorovych *– Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, senior lecturer, department No. 203, Kharkiv, Ukraine; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966.*

УДК 623.4

Баранік О. М., Павліченко А. А.

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО АВІАЦІЙНИХ ПІДРИВАЧІВ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ З БПЛА 1 КЛАСУ

Анотація: *Розглянуто вимоги до авіаційних підривачів для боєприпасів, що застосовуються з БПЛА 1 класу. На основі експериментів в аеродинамічній трубі ТН-1 та розрахунків часу падіння обґрунтовано оптимальний час дальнього зведення для забезпечення безпеки та ефективності застосування. Результати придатні для удосконалення конструкцій підривачів і процедур їх експлуатації.*

Ключові слова: *БПЛА, авіаційний підривач, час дальнього зведення, безпека, ефективність.*

Abstract: *The requirements for aviation fuses for ammunition used from class 1 UAVs are considered. Based on experiments in the TN-1 wind tunnel and calculations of the fall time, the optimal long-range assembly time is justified to ensure safety and effectiveness of use. The results are suitable for improving the designs of fuses and their operating procedures.*

Keywords: *UAV, aerial bombardment, long-range assembly time, safety, efficiency.*

Зі збільшенням використання безпілотних літальних апаратів у сучасних збройних конфліктах дедалі важливішою стає проблема адаптації штатних авіаційних боєприпасів до умов їх застосування з БПЛА 1 класу. Штатні підривачі проєктувалися для скидання з великих висот та значних швидкостей, тоді як БПЛА першого класу оперують на малих висотах (типово 50–150 м) і з обмеженою вантажопідйомністю. Це зумовлює дві основні проблеми: безпека підготовки і зберігання боєприпасів при використанні в польових умовах та гарантія надійного спрацювання підривача під час удару по цілі [1].

Підривачами називаються пристрої, які призначені для приведення до дії спорядження боєприпасів у заданий момент часу. Приєднується вони до боєприпасів або на заводі, або в процесі підготовки до бойового застосування. У сучасних боєприпасах широко застосовуються системи підриву, які складаються із декількох взаємодіючих вузлів, які встроєні в конструкцію боєприпаси і називаються вибуховими пристроями [2].

Дослідження проводились у аеродинамічній трубі малих дозвукових швидкостей ТН-1. Для дослідів виготовлено макет авіаційної бомби з встановленим підривачем ударної дії типу АМ-А. АДТ ТН-1 дозволяє створювати потік зі швидкістю 1.5–30 м/с та регулювати кут установки моделі, що дає змогу моделювати умови стабілізації та дії повітряних гвинтів на підвішений боєприпас.

Методика дослідження включала: натурний експеримент з візуалізацією обтікання моделі, вимірювання аеродинамічних навантажень, а також аналітичні розрахунки часу падіння та кінцевої швидкості бомби для набора висот 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150 м.

Розрахуємо кінцеву швидкість і час падіння бомби в діапазоні висот 50-150 м.

Таблиця 1 – Результати розрахунку швидкості та часу падіння бомби

H, м	50, м	60, м	70, м	80, м	90, м	100, м	110, м	120, м	130, м	140, м	150, м
Vn, м/с	31,26	34,3	37,04	39,59	42,04	44,3	46,45	48,51	50,47	52,43	54,19
tn, м/с	3,19	3,5	3,78	4,04	4,29	4,52	4,74	4,95	5,15	5,35	5,53

Виходячи з досвіду застосування засобів ураження найчастіше використовуються з висоти 100 м. Розрахуємо кінцеву швидкість польоту авіаційної бомби з кроком 10 м від 100 м до 0 м.

Таблиця 2 – Результати розрахунку кінцевої швидкості польоту бомби

H, м	100, м	90, м	80, м	70, м	60, м	50,м	40, м	30, м	20, м	10, м	0, м
Vn, м	0	14	19,8	24,25	28	31,3	34,29	37,04	39,6	42	44,27

Таблиця 3 – Результати дослідження часу взведення підривача АМ-А

№ з/п	Швидкість падіння, м/с	Час зведення підривача, с
1	7	не спрацював
2	10	не спрацював
3	13	не спрацював
4	16	не спрацював
5	19	не спрацював
6	22	не спрацював
7	25	не спрацював
8	28	1,2
9	30	1,0

Проведений експеремент та розрахунки засвідчують, що використання в авіаційних засобах ураження підривачів вітряночного типу з висоти 100 м є можливим. Такі підривачі забезпечують безпеку бойового розрахунку на землі та БПЛА в повітрі, так як підривач взводиться на висоті від 60 до 50 м від носія, швидкість зустрічі з ціллю при цьому становить 44,3 м/с, що є достатнім для спрацювання ударника.

На основі експериментальних і аналітичних результатів сформульовано вимоги до конструкції та характеристик підривачів для застосування з БПЛА 1 класу:

1. Час далекого зведення: регульований у межах 4–6 с залежно від висоти скидання;

2. Компактність та мала маса, які не перевищують допустимі навантаження БПЛА 1 класу (зазвичай <0.5–1 кг для підривача);
3. Наявність надійних запобіжників, які запобігають випадковому спрацюванню при транспортуванні та підготовці;
4. Можливість швидкої та безпечної підготовки/встановлення підривача без складних інструментів у польових умовах;
5. Підвищена стійкість до помилкових впливів (вітрові пориви, вібрації від гвинтів);
6. Модульна конструкція для простої заміни/технічного обслуговування.

Список використаних джерел:

1. Жирохов М. А. Війна дронів. Безпілотники в російсько-українській війні. – Київ : РАЦІО, 2024. – 224 с.
2. Головко Б.Б,Головешко М.В . Авіаційні засоби ураження. Частина 1.- Харків ХУПС, 2009.

Баранік Олексій Миколайович *– к.т.н., доцент, начальник кафедри комплексів авіаційного озброєння інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків, Україна, htpps://orcid.org/ 0000-0002-1499-7943, e-mail: kozaktur@i.ua*

Павліченко Аліна Андріївна *– слухач інженрно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків, Україна,* https://orcid.org/0009-0004-7630-098X*, електронна адреса:*alinches.s.s.s.s.s.s.s.s@gmail.com

Baranik Oleksii Mukolayovuch *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,, Head of the Department of Aviation Weapon Complexes of the Aviation Engineering Faculty Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, UA, htpps://orcid.org/ 0000-0002-1499-7943, e-mail: kozaktur@i.ua*

Pavlichenko Alina Andriivna *– student of the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, UA,* https://orcid.org/0009-0004-7630-098X*, e-mail:* alinches.s.s.s.s.s.s.s.s@gmail.com

УДК 629.7.066

Клімішен О. О., Красноруцький А. О.

АНАЛІЗ ЗАВДАНЬ ТА НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ ЗІ СКЛАДУ БОРТОВИХ КОМПЛЕКСІВ СУЧАСНИХ ВЕРТОЛЬОТІВ

Анотація. *В даній тезі представлений аналіз завдань існуючих систем технічного зору, що знайшли застосування у складі бортових комплексів сучасних вертольотів, наведено сучасні тенденції щодо їх застосування, а також визначені вимоги до систем вказаного класу.*

Ключові слова: *система технічного зору; бортове обладнання; гелікоптер; вимоги; комплексування зображень.*

Abstract. *This thesis presents an analysis of the tasks of existing technical vision systems that are used as part of on-board systems of modern helicopters, current trends in their use, as well as the requirements for systems of the specified class.*

Keywords: *technical vision system; on-board equipment; helicopter; requirements; image fusion.*

Існують наступні рівні систем технічного зору (СТЗ), які розробники авіаційної техніки планують застосовувати у складі бортових комплексів вертольотів:

- 1-й (базовий) рівень: система забезпечує лише відображення на екрані необхідних даних від приладів та датчиків;
- 2-й рівень: система відображення доповнена відеоінформацією від інфрачервоних датчиків, що підвищує безпеку польотів в умовах обмеженої видимості, наприклад, у тумані або при польоті у задимленому повітрі;
- 3-й рівень: на відеокартинку накладається комп'ютерна модель рельєфу місцевості, над якою виконується політ, мова йдеться про так звану "систему доповненої віртуальної реальності".

Таким чином можливо сформулювати визначення СТЗ вертольоту як системи, що призначена для відображення відео, символьної, пілотажно-навігаційної та спеціальної інформації без обмеження огляду льотчика, тому що всі перелічені дані проектуються на прозорий дисплей перед лобовим склом тобто на HUD (Head-Up Display).

У складі бортових комплексів сучасних вертольотів військового і спеціального призначення СТЗ відносять до основних функціональних та інформаційних підсистем авіоніки, серед яких найбільш розповсюдженими є оптико-електронні системи (ОЕС). Відповідно другими серед основних СТЗ виступають радіолокаційні системи, дальність виявлення яких значно вище.

Подальше вдосконалення ОЕС можливо у випадку реалізації наступних технологій:

- комплексування різноспектральних зображень;
- створення полегшених гіростабілізованих платформ (на які кріпляться ОЕС) та їх систем керування підвищеної точності;
- розробки перспективних високоформатних фотоприймальних пристроїв для різних спектральних діапазонів.

Також типовим при розробці сучасних бортових радіолокаційних систем вертольотів стає завдання щодо забезпечення інформаційної взаємодії з ОЕС як для формування цілевказівки різним типам авіаційних засобів поразки АЗП (ракет та авіабомб) так й для формування комплексного зображення оператору, в тому числі, з використанням цифрової карти місцевості (ЦКМ).

На оглядово-пілотажні та оглядово-пошукові ОЕС зі складу СТЗ покладаються наступні завдання:

- огляд наземного і повітряного простору, виявлення, розпізнавання об'єктів, захват і автосупроводження рухомих об'єктів, виявлення перешкод по курсу польоту (на багатофункціональному індикаторі), вимірювання похилої дальності до об'єктів, функціонування в простих і складних метеоумовах, забезпечення безпечного пілотування,

зльоту і посадки (в тому числі на необладнані площадки), а також виконання спеціальних завдань (розвідка, пошук, скидання вантажів та ін.),

- комплексування зображень: видимого та інфрачервоного каналів із співрозмірними значеннями поля зору.

Між тим, завдання які покладаються на оглядово-прицільні ОЕС дещо відрізняються, тобто на них покладають:

- огляд підстилаючої поверхні, виявлення, розпізнавання об'єктів з ймовірністю не менше 0,8;
- формування відеосигналів стабілізованого тепловізійного, телевізійного і комбінованого зображення і видачу їх у бортовій комплекс вертольота;
- вимірювання похилої дальності до цілі з видачею інформації в бортовий прицільний комплекс;
- захват оператором і автосупроводження цілі;
- зовнішня цілевказівка для керованих АЗП і артилерійських снарядів с лазерною головкою самонаведення;
- підготовку та видачу еталонних зображень для застосування керованих АЗП з оптико-електронною головкою самонаведення.

При розробці окремих типів ОЕС слід обов’язково задовольнити наступні вимоги щодо:

- маси та габаритних розмірів системи. Наприклад, для оглядово-пілотажних ОЕС вага комплекту не більше 40 кг, діаметр – 300 - 350 мм;
- типу гіростабілізованої платформи (одноконтурна чи двохконтурна; точність стабілізації лінії візірування та її швидкість наведення);
- дальності виявлення та розпізнання типових об’єктів, як для телевізійного, так й для інфрачервоного каналів.

Крім того, інтеграція до складу бортових комплексів вертольотів ОЕС та радіолокаційних засобів призведе до потреби потребує проведення досліджень алгоритмів комплексування радіолокаційних та оптико-електронних зображень з накладанням їх на ЦКМ з метою вибору найбільш ефективних.

Список використаних джерел:

1. Клімішен О. О., Краснорyцький А. О., Кочук С. Б. Застосування технологій бездротового зв’язку й технічного зору для вдосконалення авіаційних операцій пошуку та рятування. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2023. № 2 (24). С. 25–32.

2. Клімішен О. О., Краснорyцький А. О. Впровадження систем технічного зору до складу бортового обладнаня сучасних гелікоптерів // Актуальні проблеми бойового застосування, експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки. – 2024. – С. 11-14.

Клімішен Олексій Олегович *– кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший викладач кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: kl_s_kh@ukr.net. ORCID https://orcid.org/0000-0003-3859-1531*

Краснорyцький Андрій Олександрович *– кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: krasnorycki@ukr.net. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4318-2217*

Klimishen Oleksii O. *– Candidate of Technical Science, Senior Researcher, Senior Lecturer of the Department of aviation equipment for airplanes and helicopters, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv, e-mail: kl_s_kh@ukr.net*

Krasnorutskiy Andriy O. *– Candidate of Technical Science, Associate Professor, Head of the Department of aviation equipment for airplanes and helicopters, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv, e-mail: krasnorycki@ukr.net.*

УДК 004.932

Гурін А. П., Гурін О. О., Лісогорський Б. А., Сніцаренко О. М., Пономарь А. В.

УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ КОНТРАСТУ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИНЦИПІВ СПЕКТРАЛЬНОЇ УЗГОДЖЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Анотація. *Доповідь присвячена удосконаленому методу підвищення контрасту повітряних об'єктів на цифрових зображеннях, які отримані із застосуванням оптико-електронної системи під час моніторінгу повітряного простору. Особливістю методу є те, що з метою зміни яскравості ік селів отриманого зображення, на основі відомих спектральних характеристик повітряного об'єкта та розрахованих спектральних характеристик фону обчислюється апаратна функція. Скалярний добуток апаратної функції з показниками яскравості ік селів зображення дозволяє змінити їх яскравість таким чином, щоб зменшити величину яскравості ік селів фону із мінімальним зменшенням яскравості ік селів повітряного об'єкта.*

Ключові слова: *оптико-електронна система, підвищення контрасту об'єкта, яскравість пікселів, спектральний склад зображення.*

Abstract. *The report is devoted to an improved method of increasing the contrast of aerial objects in digital images obtained using an optoelectronic system during airspace monitoring. The peculiarity of the method is that in order to change the brightness of the pixels of the obtained image, a hardware function is calculated based on the known spectral characteristics of the aerial object and the calculated spectral characteristics of the background. The scalar product of the hardware function with the brightness indicators of the image pixels allows changing their brightness in such a way as to reduce the brightness of the background pixels with a minimal decrease in the brightness of the aerial object pixels.*

Keywords: *electro-optical system, increasing object contrast, pixel brightness, spectral composition of the image.*

Вступ

Найбільш розповсюдженими задачами, які розв'язуються оптико-електронними системами, є виявлення, розпізнавання та класифікація об'єктів. Під час розв'язання такого класу задач використовують певний опис образів (сукупність сигналів, що обробляються), які складають відмінні ознаки об'єктів. Найчастіше використовують такі групи ознак: геометричні ознаки, спектральні, енергетичні та динамічні [1].

Фізичною основою побудови оптико-електронних систем із затосуванням принципів спектральної узгодженої динамічної обробки оптичних сигналів, є вибіркова здатність кольорових поверхонь відбивати та поглинати світло різних довжин хвиль [2]. Математичною основою, що застосовується при вирішенні завдань підвищення контрастності сигналів за спектральними ознаками, є векторне подання таких сигналів [3]. Отже, враховуючи вказане вище, існує можливість обчислення апаратної функції, скалярний добуток якої із показниками яскравості ік селів зображення дозволить підвищити контраст повітряного об'єкта.

Вибір спектральних ознак при вирішенні завдання підвищення контрасту повітряних об'єктів, обумовлений тим, що під час спектральної обробки відсутня необхідність високої просторової роздільної здатності, тому що виявлення та розпізнавання повітряних об'єктів може проводитися за мінімальною кількістю його видимих ік селів [3]. Тому завдання, що полягає в удосконаленні методу підвищення контрасту повітряних об'єктів на цифрових зображеннях, що забезпечує поліпшені характеристики, є актуальним.

Метою роботи є підвищення контрасту повітряних об'єктів на потоковому відео, отриманого із застосуванням оптико-електронної системи під час моніторінгу повітряного

простору, шляхом розділення його на цифрові зображення, з подальшою їх обробкою в інтересах виявлення та розпізнавання об'єктів.

Результати дослідження

Удосконалений метод підвищення контрасту повітряних об'єктів на цифрових зображеннях ік селів я на операції скалярного добутку апаратної функції із показниками яскравості ік селів зображення. Підвищення контрасту однорідного об'єкту на однорідному фоні забезпечується визначенням такого вектору апаратної функції $\vec{F}$, скалярний добуток якого з вектором фону $\vec{B}$ буде дорівнювати нулю, а добуток з вектором об'єкту буде максимальним (рис. 1) [4].

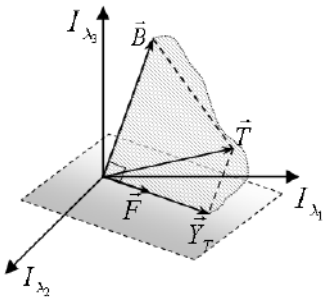


Рис. 1. Ілюстрація до узгодженої динамічної обробки сигналів однорідного об'єкту на однорідному фоні

Для випадку спектральної узгодженої динамічної обробки сигналів однорідного об'єкту на однорідному фоні, апаратна функція розраховується на основі апріорних даних спектральних характеристик вектора об'єкту $\vec{T}$ і та розрахованих характеристик вектора фону $\vec{B}$ з використанням наступного виразу [5]:

$$\vec{F} = \frac{\vec{T} - N \cdot \vec{B}}{\left\| \vec{T} - N \cdot \vec{B} \right\|}, \tag{1}$$

де $N = \dfrac{\vec{T}^T \cdot \vec{B}}{\vec{B}^T \cdot \vec{B}}$ – проекція вектора об'єкту на вектор фону.

На рисунку (рис. 1) в тривимірному просторі зображено розташування векторів при спектральній фільтрації. Вектор апаратної функції $\vec{F} = f_1\vec{\lambda}_1 + f_2\vec{\lambda}_2 + f_3\vec{\lambda}_3$ є ортогональним до вектора фону $\vec{B} = b_1\vec{\lambda}_1 + b_2\vec{\lambda}_2 + b_3\vec{\lambda}_3$, та лежить в площині, яка створена вектором $\vec{B}$ і вектором, що ілюструє спектральні властивості об'єкту $\vec{T} = t_1\vec{\lambda}_1 + t_2\vec{\lambda}_2 + t_3\vec{\lambda}_3$.

Вектор апаратної функції $\vec{F}(f_1; f_2; f_3)$ є ортогональним до вектору фону $\vec{B}(b_1; b_2; b_3)$, та лежить в площині, яка створена вектором $\vec{B}$ і вектором, що ілюструє спектральні властивості повітряного об'єкта $\vec{T}(t_1; t_2; t_3)$.

В алгебраїчній формі скалярний добуток являє собою операцію множення проекцій векторів, які приймають участь у процесі селекції з подальшим їх підсумовуванням:

$$\left(\vec{X} \cdot \vec{F}\right) = \vec{\lambda}_1 f_1 + \vec{\lambda}_2 f_2 + \vec{\lambda}_3 f_3. \tag{2}$$

У випадку (рис. 1) скалярний добуток ортогональних векторів фону та апаратної функції дорівнює нулю, а скалярний добуток вектора об'єкту та апаратної функції відмінний від нуля $\left(\vec{T} \cdot \vec{F}\right) = \vec{t}_1 f_1 + \vec{t}_2 f_2 + \vec{t}_2 f_3 \neq 0$.

Основу узгодженої динамічної спектральної обробки зображення повітряних об'єктів на цифрових зображеннях складають наступні положення.

По-перше, передбачається, що в результаті реєстрації природного випромінювання деякого повітряного простору отримане цифрове RGB зображення.

По-друге, відповідно до кольорової моделі RGB кожен елемент вихідного кольорового зображення з координатами (i, j) представляється у вигляді вектору $\vec{X}_{i,j} = \left[x_R(i,j); x_G(i,j); x_B(i,j) \right]^T$ в тривимірному евклідовому просторі, де x_R, x_G, x_B – значення яскравості, які виміряні в червоному (R-red), зеленому (G-green) та синьому (B-blue) спектральних каналах [6].

По-третє, передбачається, що відомі апріорні відомості про числові параметри імовірнісних характеристик сигналів повітряного об'єкта та фону (вектори математичного очікування), які розраховано за допомогою наступних виразів [7]:

$$\vec{\mu}_T = \frac{1}{t} \sum_{L=1}^{t} \vec{X}_L, \tag{3}$$

де $\vec{X}_L$ – тривимірний вектор L-го елементу репрезентативної вибірки повітряного об'єкта;

t – кількість елементів репрезентативної вибірки повітряного об'єкта;

$$\vec{\mu}_B = \frac{1}{b} \sum_{K=1}^{b} \vec{X}_K, \tag{4}$$

де $\vec{X}_K$ – тривимірний вектор K-го елементу репрезентативної вибірки фону;

b – кількість елементів репрезентативної вибірки фону;

По-четверте, передбачається, що процес спектральної фільтрації полягає в обчисленні скалярного добутку векторів елементу вихідного кольорового зображення $\vec{X}$ та апаратної функції $\vec{F}$.

З урахуванням вищевикладеного матеріалу, основними етапами методу підвищення контрасту повітряних об'єктів є [8]:

– реєстрація вхідного зображення $\vec{X}$;

– розрахунок вектору сигналу повітряного об'єкта $\vec{\mu}_T$ (вираз (3));

– розрахунок вектору сигналу фону $\vec{\mu}_B$ (вираз (4));

– розрахунок проекції вектору об'єкту на вектор фону N;

– розрахунок вектору апаратної функції $\vec{F}$, який забезпечує підвищення контрасту об'єкту розвідки з урахуванням числових параметрів спектральних характеристик сигналів об'єкту розвідки та фону (вираз (1));

– розрахунок скалярного добутку векторів яскравостей пікселів зображень вихідного кольорового розвідувального зображення $\vec{X}$ та апаратної функції $\vec{F}$ (вираз (2));

– формування зображення з підвищеним контрастом.

Для підтвердження результатів теоретичних розрахунків було проведено математичне моделювання методу підвищення контрасту повітряних об'єктів на цифрових зображеннях з використанням персональної електронно-обчислювальної машини (комп'ютерне моделювання).

На зображенні (рис. 2 а) представлене вихідне цифрове зображення повітряного об'єкта (безпілотний літальний аппарат "Shahed-136" ("Герань-2")) під час польоту в темний час доби. На зображенні (рис. 2 б) представлене цифрове зображення повітряного об'єкта із підвищеним показником контрасту.

а)

б)

Рис. 2. Цифрове зображення повітряного об’єкта:
а – вихідне цифрове зображення; б – цифрове зображення з підвищеним контрастом

Якість цифрової обробки зображення, оцінювалася шляхом розрахунку контрасту до цифрової обробки $K_{вх}$ та після обробки $K_{вих}$ з використанням наступних співвідношень [4]:

$$K_{вх} = \frac{\vec{F}_1^T \left(\vec{\mu}_T - \vec{\mu}_B \right)}{\vec{F}_1^T \left(\vec{\mu}_T + \vec{\mu}_B \right)};\ K_{вих} = \frac{\mu_T - \mu_B}{\mu_T + \mu_B}, \quad (5)$$

де $\vec{F}_1^T = [1;\ 1;\ 1]$ – вектор апаратної функції, який забезпечує мінімальне послаблення вхідного випромінювання селектуючим пристроєм;

$\vec{\mu}_T$, $\vec{\mu}_B$ – математичні очікування сигналів об’єкту та фону до цифрової обробки;

μ_T, μ_B – математичні очікування сигналів об’єкту та фону після цифрової обробки.

Математичне моделювання удосконаленого методу підвищення контрасту повітряних об’єктів на цифрових зображеннях показало, що розглянутий у доповіді метод дозволяє підвищити контраст повітряного об’єкта ($K_{вх} = 0{,}569$, $K_{вих} = 0{,}823$).

Висновки

Доповідь присвячена удосконаленому методу підвищення контрасту повітряних об’єктів на цифрових зображеннях, які отримані із застосуванням оптико-електронної системи під час мониторінгу повітряного простору. Наведено математичні основи принципів спектральної узгодженої динамічної обробки цифрових зображень. Розроблена математичну модель та проведено математичне моделювання методу підвищення контрасту зображення повітряних об’єктів. Показано, що розроблена математична модель надає можливість збільшити контраст зображення повітряних об’єктів в 1,5 рази.

Список використаних джерел:

1. Білинський Й. Й., Огородник К. В., Юкиш М. Й. Оптико-електронні системи, основні тенденції розвитку. Електронні системи : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2011. С. 14–16.
2. Tulansky S. Curiosities of light rays and light waves. New York: American Elsevier Publishing Company, 1965. 109 p.
3. Manolakis D., Marden D., Shaw G. Hyperspectral image processing for automatic target detection applications. Lincoln Laboratory Journal. 2003. Vol. 14. No. 1. P. 79–113. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.163.733.
4. Купченко Л. Ф., Слабунова Н. В., Гурин О. А. Акустооптический процессор в оптико-электронной системе обеспечивающий динамическую спектральную фильтрацию. Прикладная радиоэлектроника. 2016. № 15 (4). С. 359–361.
5. Купченко Л. Ф., Рыбьяк А. С. Динамическая спектральная фильтрация оптического излучения в оптоэлектронных системах. Электромагнитные волны и электронные системы. 2011. № 16 (4). С. 32–43.
6. Tedore C., Johnsen S. Using RGB displays to portray color realistic imagery to animal eyes. Current Zoology. 2017. Vol. 63. No. 1. P. 27–34. https://doi.org/10.1093/cz/zow076.
7. Fukunaga K. Introduction to statistical pattern recognition. San Diego : Academic Press, Inc., 1990. 626 p.
8. Купченко Л. Ф., Худов Г. В., Гурін А. П., Риб’як А. С. Активна оптико-електронна система виявлення затінених об’єктів, яка використовує принципи спектральної узгодженої динамічної обробки зображень. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 4 (45). С. 49–57. https://doi.org/10.30748/nitps.2021.45.06.

Гурін Артем Петрович – доктор філософії, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу (моделюючих та інформаційних систем Повітряних Сил) науково-дослідного управління (розвитку і застосування Повітряних Сил) наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил

імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: tema0504@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-8536-4924.

Гурін Олег Олександрович *– кандидат технічних наук, старший викладач кафедри озброєння **р**адіотехнічних військ факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба**,** м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: Goorin.oleg@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-7216-7497.*

Лісогорський Богдан Анатолійович – *кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба**,** м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: lisogorskiy.b@gmail.com ORCID* ***https://orcid.org/****0000-0001-5345-0345**.*

Сніцаренко Ольга Миколаївна *– старший науковий співробітник науково-дослідного відділу (розвитку багатофункціональних розвідувально-ударних систем) науково-дослідного управління (спеціальних досліджень) наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: Sniczarenko2@ukr.net ORCID https://orcid.org/0009-0008-8754-5842.*

Пономарь Андрій Васильович – *старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: Andreyponomar1980@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0001-6854-6892**.***

Artem Petrovych Hurin – *PhD, Leading Researcher of the Research Department (Air Force Modeling and Information Systems) of the Research Department (Air Force Development and Application) of the Air Force Research Center of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: tema0504@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-8536-4924.*

Oleg Oleksandrovych Goorin *– PhD in Engineering, Senior Lecturer of the Department of Weapons of Radio-Technical Forces Faculty of Radio Engineering of the Air Defense Forces of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: Goorin.oleg@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-7216-7497.*

Bohdan Anatoliiovych Lisohorskyi *– PhD in Engineering, Senior Researcher, Senior researcher of the research laboratory Faculty of Radio Engineering of the Air Defense Forces of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: lisogorskiy.b@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0001-5345-0345**.***

Snitsarenko Olha Mykolaivna *– Senior Researcher of the Research Department (Development of Multifunctional Reconnaissance and Strike Systems) of the Research Department (Special Research) of the Air Force Research Center of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, **e**-mail: Sniczarenko2@ukr.net* ***ORCID*** *https://orcid.org/0009-0008-8754-5842.*

Andriy Vasylovych Ponomar *– Senior researcher of the research laboratory Faculty of Radio Engineering of the Air Defense Forces of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: Andreyponomar1980@gmail.com ORCID* ***https://orcid.org/****0000-0001-6854-6892**.***

УДК 691.175

Поляков А. П., Мороз Л. В., Стороженко Я.В.

ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРЕБИ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ ДЛЯ СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

Анотація. *Проаналізовані основні методи управління потребою в запасних частинах за рядом класифікаційних ознак. Розглянуті положення наукової оцінки швидкості зношування сполучень силових агрегатів спеціальних машин військового призначення.*

Ключові слова: *роботоздатність агрегатів, розмір запасу запасних частин, угрупування ресурсів, швидкість зношування сполучень і деталей.*

Annotation. *The main methods of managing the need for spare parts according to a number of classification features are analyzed. The provisions of the scientific assessment of the wear rate of power unit assemblies of special military vehicles are considered.*

Keywords: *operational capacity of units, size of spare parts inventory, grouping of resources, wear rate of connections and parts.*

В процесі експлуатації роботоздатність агрегатів спеціальних машин військового призначення (СМВП), втрачену в результаті зносу деталей, відновлюють послідовною заміною їх новими або відновленими запасними частинами.

Оцінка потреби в запасних частинах полягає у визначенні їх рівня, оптимального за конкретним критерієм, і в розробці умов, які забезпечують підтримку необхідної кількості запасів на цьому рівні. Управління потребою в запасних частинах здійснюється при таких обмеженнях: за термінами подання замовлень і їх виконання, за економічним обсягом партій, за рівнем запасів. Обсяги партій запасних частин і потреба не є постійними величинами, оскільки перебувають під впливом багатьох чинників, які необхідно враховувати при формуванні номенклатури і кількості запасних частин.

Перш ніж вирішити питання про розмір запасу цих запасних частин, необхідно визначити потребу в них. Проте потреба не єдиний критерій, необхідно визначити мету створення запасів по групах А, В, С запасних частин і у відповідності до поставлених завдань розглядати питання про потребу.

Суть методу АВС полягає в тому, що відповідно до мети аналізу вибирається класифікаційна ознака і здійснюється ранжирування в порядку убування цієї класифікаційної ознаки. Так, при класифікації запасних частин за обсягом виконаних протягом року закупівель, необхідно усю номенклатуру запасних частин розташувати в порядку убування вартості їх річного споживання. Потім в групу А відносять усі найменування в списку, починаючи з першого, сума вартостей яких складає 75-80% від сумарної вартості усіх спожитих запасних частин за цей період. Досвід показує, що зазвичай в цю групу потрапляє 10-20% усієї номенклатури. До групи В відноситься приблизно третина найменувань запасних частин, сума вартостей яких складає 10-15%. Інші позиції номенклатури, а це половина запасних частин, що залишилася, сумарна вартість яких складає лише 5-10%, відносяться до групи С.

Найбільший ефект дає застосування методу АВС в комбінації з іншим XYZ - аналізом. Метод XYZ дозволяє зробити класифікацію запасних частин за конкретною СМВП, але залежно від характеру їх споживання і точності прогнозування змін в їх потребі. Угрупування ресурсів при проведенні XYZ - аналізу здійснюється в порядку зростання коефіцієнта варіації. При цьому до категорії X належать ресурси, які характеризуються стабільною величиною споживання, незначними коливаннями в їх витраті і високою точністю прогнозу. Категорія Y - це ресурси, потреба в яких характеризується відомими тенденціями (наприклад, сезонними коливаннями) і середніми можливостями їх прогнозування. Нарешті, ресурси, які відносяться до категорії Z, споживаються нерегулярно, точність їх прогнозування невисока. Накладенням результатів XYZ - аналізу на дані АВС - методу отримуємо 9 груп ресурсів, для кожної з яких необхідно розробити свою техніку управління: AX; BX; CX; AY; BY; CY; AZ; BZ; CZ.

В управлінні цими підгрупами існують певні закономірності.

Підгрупи AX, AY і AZ вимагають індивідуального управління.

Підгрупи CX, CY і CZ управляються однаково - планування таких запасів можна виконати на рік з щомісячним контролем наявності.

У підгрупах BX, BY і BZ, можуть бути збіги і відмінності в методах контролю.

Аналізи ABC і XYZ виконуються щомісячно або щоквартально. До номерів деталей, віднесених до тієї або іншої групи, програмним шляхом «прив'язують» ознаки, які ототожнюють групи, тобто індекси A, B, C і X, Y, Z, а також коефіцієнт оборотності за рік. Набір ознак дозволяє зробити висновок про необхідність посиленого або слабкого контролю за формуванням запасу тієї або іншої деталі. Індекс групи попиту вказується при друкуванні прейскурантів, статистики витрати, відомості зайвих запасів. За індексом можна виконати друк необхідних для аналізу документів.

Очевидно, що групи AX, AY і AZ вимагають найбільшої уваги з логістичної точки зору, для них потрібне ретельне планування потреби, нормування витрати, щоденний облік і контроль, постійний аналіз відхилень від запланованих показників. Причому, для категорії AX ефективніше використати систему постачання по запитах з обов'язковим розрахунком величини страхового запасу. Для ресурсів категорії CX, CY, CZ застосовуються укрупнені методи планування, а функції контролю найчастіше делегуються нижчим рівням управління.

Результатом спільного проведення аналізу ABC і XYZ є виділення ключових, найбільш важливих ресурсів.

Заходи по забезпеченню нормативного ресурсу в експлуатації СМВП мають бути доповнені науковою оцінкою швидкості зношування сполучень силових агрегатів, з метою створення необхідної безвідмовності вузлів і деталей, які підлягають заміні або відновленню в процесі ремонту.

Загальне рішення проблеми оцінки потреби в запасних частинах для силових агрегатів вимагає самостійного розгляду швидкості зношування основних сполучень.

Швидкість зношування силового агрегату обумовлюється: робочими режимами агрегату, які є функцією конкретних зовнішніх умов, інтенсивністю і характером його використання, культурою експлуатації і обслуговування, дорожніми і кліматичними умовами, а також технічним станом, якістю палив і мастил, технологією виготовлення, складання тощо.

Маючи це за основу, необхідно встановити закономірності оцінки швидкості зношування сполучень силових агрегатів.

Для обґрунтування характеру зносу сполучення слід виділити не стільки провідні і супутні чинники, скільки групи чинників, які викликають той або інший вид зношування. Вони характеризують загалом фізичні явища, які відбуваються в сполученнях силових агрегатів, що труться. Тому пропонується наступне ділення чинників при оцінці швидкості зношування деталей і сполучень силового агрегату.

Усі чинники, що викликають знос деталей і сполучень, незалежно від класифікацій і назв, не заперечуючи жодної з існуючих класифікацій, пропонується розділити на дві групи.

Перша група - чинники швидкісного та навантажувального режиму, тобто тиск і швидкість відносного переміщення робочих поверхонь сполучень. Вони характеризуються середнім ефективним тиском і швидкістю обертання колінчастого валу двигуна, а для агрегатів трансмісії і середньозваженим передатним числом коробки перемикання передач.

Друга група - чинники, що мають технологічний і експлуатаційний характер. які характеризуються якістю складання, регулювання, вживаних паливно-мастильних матеріалів, періодичності обслуговування, якості водіння тощо.

Ці дві групи чинників викликають різні види зношування в кожен момент часу роботи сполучення силового агрегату, але прояв їх впливу на швидкість зношування різний в різні періоди зношування сполучень.

Швидкість зношування сполучень і деталей силових агрегатів встановлюється шляхом оцінки відділення металу, що призводить до спотворення геометричних форм, тобто і структурних параметрів стану силового агрегату. Особливо слід сказати про такі зміни геометричних параметрів, як овальність, конусність, неперпендикулярність, неспіввісність та ін. Вони пов'язані із спотворенням макрогеометрії зв'язаних поверхонь тертя і є узагальнюючим параметром при оцінці лінійного зносу сполучення.

В силу викладеного дуже важливо встановлювати закономірності зміни не лише максимального зносу по абсолютних значеннях конусності, овальності та інших параметрів, але й зміни приведеного сумарного зносу поверхонь тертя, який включає абсолютні значення їх конусності, овальності тощо. У зв'язку з цим при оцінці залежності між структурними і діагностичними параметрами стану силового агрегату необхідно визначати величину приведеного сумарного зносу, встановлюючи при цьому величину і характер зношування деталей і сполучень силового агрегату.

На швидкість зношування сполучень при фіксованому швидкісному та навантажувальному режимі роблять також вплив технологічні (K_m) і експлуатаційні (K_e) чинники. Ці чинники для цих зовнішніх умов є випадковими величинами. Тоді швидкість зношування сполучень силового агрегату матиме вигляд

$$И = f(P_e, n, \cdot K_T \cdot K_E) \quad (1.1),$$

де P_e - середній ефективний тиск, кПа; n - швидкість обертання колінчастого валу, хв$^{-1}$;

Таким чином, швидкість зношування будь-якого силового агрегату в загальному випадку – це безперервна однозначна функція швидкісного та навантажувального режиму, технологічних і експлуатаційних чинників.

Якщо для усіх основних сполучень силових агрегатів, що визначають їх ресурс, знайти подібні функції швидкості зношування в єдиних вимірниках, то стане можливим визначити потребу в запасних частинах на цей період роботи.

Список використаних джерел:

1. Поляков А.П. Метод формування необхідної кількості запасних частин для ремонту засобів транспорту [Електронний ресурс] / А.П. Поляков, О.П. Антонюк, Д.О. Галущак, О.О. Галущак // Наукові праці ВНТУ. – 2012. – №2. – С. 1-5. – Режим доступу до журналу: http://www.nbuv.gov.ua/ejournals/vntu/2012_2/2012-2.files/uk/12apptmr_ua.pdf.

2. Bondarenko, E., Dryuchin, D., Goncharov, A., Bulatov, S., Feklin, E. (2023). Improving the Efficiency of Vehicle Operation by Defining the Organizational and Methodological Parameters of the Spare Parts Incoming Inspection System. In: Guda, A. (eds) Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. NN 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 509. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11058-0_110.

3. Бойовий статут "Логістика Сухопутних військ Збройних Сил України" (тактичний рівень). Наказ Командувача Сухопутних військ Збройних Сил України від 30.03. 2021 р. № 218. [Електронний ресурс] Режим доступу chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2024/02/2-4-3211.01.pdf.

4. Доктрина «Забезпечення матеріально-технічними засобами, роботами та послугами» (ВКП 4-160(03).01). Затверджена начальником Генерального штабу Збройних Сил України 21.01.2021 р.

Поляков Андрій Павлович *– доктор технічних наук, завідувач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: poliakovap61@gmail.com.*

Мороз Лариса Василівна *– ст. викладач, кафедра військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: morozlarisa764@gmail.com.*

Стороженко Ярослав Валерійович *– студент групи 2АТ-24м, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: farv@vntu.edu.ua*

Andriy Pavlovych Polyakov *– doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail:*

poliakovap61@gmail.com.

Larisa Vasylivna Moroz *– senior Lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: morozlarisa764@gmail.com.*

Storozhenko Yaroslav Valeriyovych *– student of group 2АТ-24м, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: farv@vntu.edu.ua*

УДК 691.175

Поляков А. П., Варчук В. В.

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТРЕБИ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ ДО ДВИГУНІВ СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. *Розглянуто основні положення методики прогнозування потреби в запасних частинах для агрегатів спеціальних машин військового призначення за допомогою ЕОМ з використанням пакету проблемно - орієнтованих блоків.*

Ключові слова: *запасні частини, силові агрегати, умови експлуатації, прикладні програми, діагностика міри зношеності сполучень.*

Annotation. *The main provisions of the methodology for forecasting the need for spare parts for units of special military vehicles using a computer using a package of problem-oriented blocks are considered.*

Keywords: *pare parts, power units, operating conditions, application programs, diagnostics of the degree of wear of connections.*

Отримані теоретичні залежності, що охоплюють вплив широкого кола чинників експлуатаційного, конструктивного і технологічного характеру на потребу в запасних частинах агрегатів спеціальних машин військового призначення (СМВП), і виконані дослідження дозволили розробити методику прогнозування потреби в запасних частинах для агрегатів в реальних умовах експлуатації і оцінки її на стадії проектування, а також розрізнити основні напрями роботи по зниженню витрати запасних частин.

Методика призначена для автоматизованого дослідження і моніторингу процесу оцінки працездатності СМВП, їх вузлів і агрегатів при широкому спектрі зовнішніх дій і змін умов експлуатації.

Вже на стадії проектування силових агрегатів методика може встановити прогнозні значення їх працездатності, виявити найбільш слабкі сполучення, розробити заходи по підвищенню надійності окремих деталей, сполучень і транспортного засобу в цілому.

У основу методики покладені процеси функціонування силових агрегатів СМВП, пов'язані з підтримкою і втратою їх працездатності. Тому від точності аналізу зовнішніх умов і технічного стану СМВП залежить якість прогнозу потреби в запасних частинах і, отже, ефективність управління надійністю рухомого складу.

До складу системи аналізу працездатності СМВП повинні входити такі основні блоки спеціальних програм (рис. 1).

Програма забезпечує можливість встановити взаємозв'язки елементів системи, робить їх інформаційне стикування. У програмі передбачаються введення і контроль усіх початкових даних, а структура генерує при її постановці і надалі піддається незначним змінам. Найважливіша її функція - захист внутрішніх блоків системи від випадкового руйнування, а також виведення інформації, отриманої в результаті розрахунку системи управління, і її попередній аналіз.

Проблемно - орієнтовані блоки призначені для розрахунків потреби в запасних частинах до силових агрегатів конкретної СМВП. Ці блоки, що несуть основне навантаження в процесі аналізу функціонування транспортного засобу, складають основу її змісту.

Окремі блоки повинні поповнюватися інформацією від програми, що управляє, яка підключає їх до роботи і управляє ними.

Блоки генеруються на стадії розробки методики, але на відміну від програми, що управляє, мають менш стаціонарну структуру, в них можна вносити зміни у міру вдосконалення математичних моделей швидкості зношування деталей силових агрегатів і вживаних методів і засобів діагностування їх технічного стану.

Виведення інформації, отриманої в результаті роботи блоків, здійснюється програмою, що управляє. У самих блоках передбачено лише виведення контрольної інформації, що дозволяє судити про правильність їх функціонування.

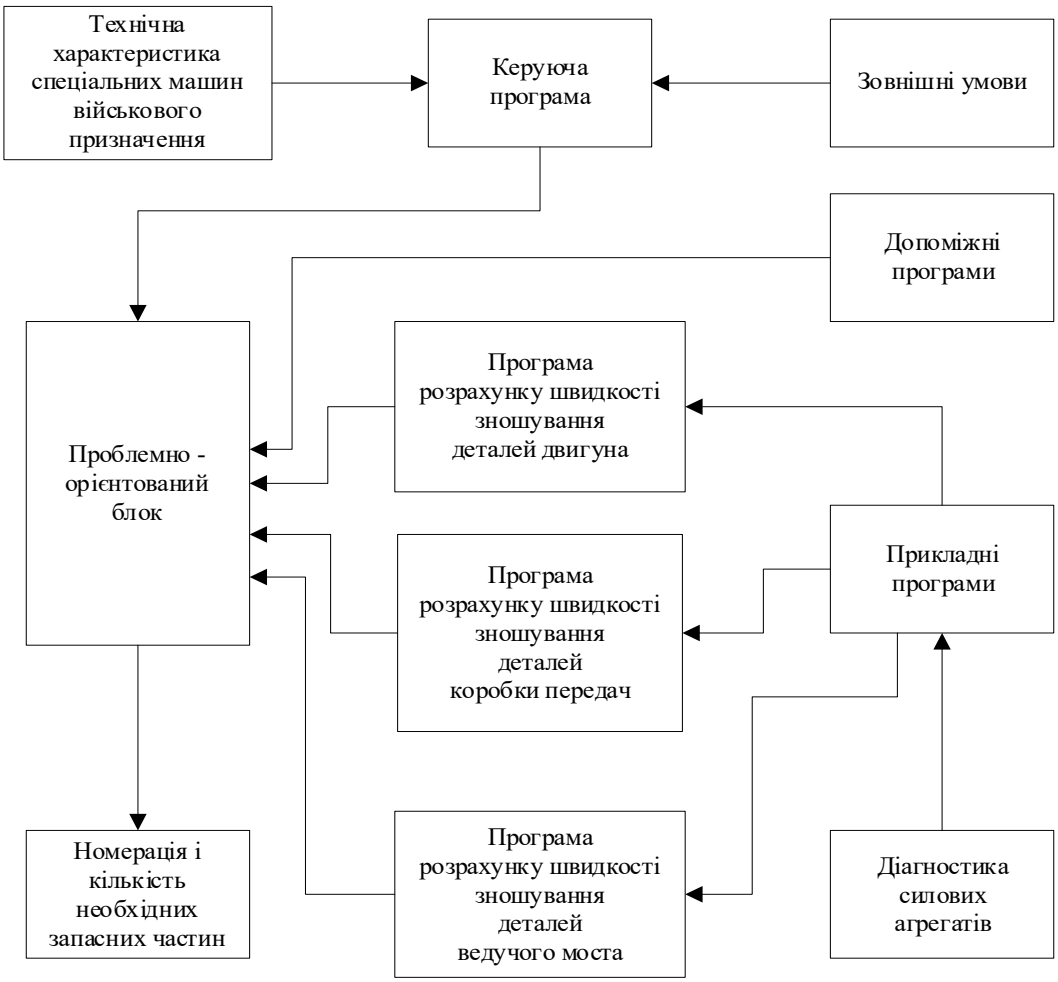


Рисунок 1- Структурна схема методу прогнозування потреби в запасних частинах для силових агрегатів

Для управління роботою проблемно - орієнтованих блоків використовуються допоміжні програми, що утворюють розрахункові структури, що дозволяють уточнювати потреби і номенклатуру запасних частин для конкретних силових агрегатів цієї транспортного засобу, з урахуванням проведених модернізацій вузлів і систем.

Пакет програм, які застосовуються, призначений для оцінки міри зношеності сполучень силових агрегатів за результатами діагностики.

Склад цього пакету може розширитися при вдосконаленні засобів діагностування сполучень силових агрегатів.

Як випливає з вищевикладеного, основними є проблемно - орієнтовані блоки, призначені для встановлення необхідної номенклатури запасних частин для конкретної СМВП, і загалом управління обсягами поставок запасних частин по марках і моделях силових агрегатів для парку СМВП. У повну систему визначення необхідної номенклатури запасних частин і прогнозування їх потреби на певний проміжок часу за попередніми оцінками необхідно об’єднувати до 4-5 окремих проблемно - орієнтованих блоків.

При розробці методики прогнозування потреби в запасних частинах слід виходити з того, що ЕОМ на будь - якій стадії свого розвитку залишається лише інструментом, більш менш здійсненим, виконуючим тільки ті функції, які закладені в нього працівником на стадії генерації. Своєї логіки ухвалення рішення по складанню номенклатури попиту запасних частин груп А, В, С обчислювальна машина виробити не може, це функція управління. Тому для створення логіки машинного управління, яку можна закласти в основу системи автоматизованого визначення номенклатури запасних частин по групах і конкретних СМВП, необхідно встановити і проаналізувати усі основні етапи її розробки.

Початком процесу розробки методики є формування переліку деталей і вузлів по групах А, В, С, які визначають номенклатуру необхідних запасних частин. Цей перелік, як правило, встановлює завод - виробник і може коригуватися користувачем СМВП в період експлуатації в цих зовнішніх умовах. Оскільки цей аналіз може виконуватися і за допомогою ЕОМ, то створюються певні передумови для автоматизації і нульового етапу.

Наступний етап - вибір підтипу системи, що найбільш відповідає вимогам нормативної бази. В даному випадку є потреба в пошуку принципово нового або такого, що відрізняється істотною новизною методу діагностичної оцінки міри зношеності деталей, вузлів і агрегатів спеціальних машин військового призначення. При розробці методики оцінки потреби в запасних частинах до силових агрегатів не завжди прийнятні існуючі методи діагностики міри зношеності сполучень.

Прогнозування потреби в запасних частинах зажадала створення принципово нових моделей визначення швидкості зношування сполучень силових агрегатів, що базуються на результатах діагностичної оцінки міри зношеності сполучень. Подібного роду завдання відносяться до четвертого і п'ятого рівня складності і автоматизації підлягають при розробці лише частково. З урахуванням класу складності завдань, що вирішуються на цьому етапі розробки методики, визначають можливу міру автоматизації оцінки потреби в запасних частинах.

Список використаних джерел:

1. Біліченко В. В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів : навчальний посібник / Біліченко В. В., Крещенецький В. Л., Кукурудзяк Ю. Ю., Цимбал С. В. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 118 с.

2. Поляков А.П. Метод формування необхідної кількості запасних частин для ремонту засобів транспорту [Електронний ресурс] / А.П. Поляков, О.П. Антонюк, Д.О. Галущак, О.О. Галущак // Наукові праці ВНТУ. – 2012. – №2. – С. 1-5. – Режим доступу до журналу: http://www.nbuv.gov.ua/ejournals/vntu/2012_2/2012-2.files/uk/12apptmr_ua.pdf.

3. Поляков А.П. Методологія визначення потреби в запасних частинах для технічного обслуговування і ремонту спеціального рухомого складу [Електронний ресурс] / А.П. Поляков, О.С. Вітюк - Режим доступу: r.lib.vntu.edu.ua › bitstream › handle.

4. Бойовий статут "Логістика Сухопутних військ Збройних Сил України" (тактичний рівень). Наказ Командувача Сухопутних військ Збройних Сил України від 30.03. 2021 р. № 218. [Електронний ресурс] Режим доступу chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2024/02/2-4-3211.01.pdf.

Поляков Андрій Павлович **-** доктор технічних наук, завідувач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: poliakovap61@gmail.com

Варчук Вячеслав Володимирович – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

Andriy Pavlovich Polyakov - doctor of technical sciences Sciences, Head of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: poliakovap61@gmail.com

Vyacheslav Volodymyrovych Varchuk – Assistant Professor, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

УДК 691.175

Мороз Л. В., Варчук В. В.

ОЦІНКА ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ ПОЯВОЮ ВІДМОВ СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯТА ВИЗНАЧЕННЯМ ПЕРЕЛІКУ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН ДЛЯ ЇХ УСУНЕННЯ

Анотація. *В роботі досліджені причини появи відмов і несправностей в силових агрегатах спеціальних машин військового призначення в залежності від зміни експлуатаційних чинників і встановлений перелік необхідних замін деталей по групах на заданий період експлуатації.*

Ключові слова*: силовий агрегат, втрата працездатності, статистична інформація, групи запасних частин, закон розподілення.*

Annotation. *The work investigates the causes of failures and malfunctions in the power units of special military vehicles depending on changes in operational factors and establishes a list of necessary replacements of parts by groups for a given period of operation.*

Keywords: *power unit, loss of performance, statistical information, spare parts groups, distribution law.*

Попит на запасні частини по групах А, В, С, який спостерігається в експлуатації, викликаний причиною втрати працездатності силових агрегатів спеціальних машин військового призначення (СМВП), яку з системних позицій слід розділити на п'ять основних груп:

- погіршення показників екологічної безпеки (підвищена токсичність відпрацьованих газів);
- зниження експлуатаційних якостей, тягово-економічних показників;
- зміна параметрів робочих і супутніх процесів: розгерметизація камер внутрішнього згоряння, систем охолодження і мащення, втрата експлуатаційних властивостей масел і мастил (через збільшення концентрації продуктів зносу в них, їх окислення і забруднення); перегрів або підвищена вібрація двигуна, коробки передач і ведучих мостів;
- зміна геометричних параметрів: зміна зазорів і люфтів, перекоси осей ведучих мостів;
- аварійні відмови двигунів, вузлів і механізмів (поломки, тріщини тощо).

В результаті експлуатаційних спостережень була отримана статистична інформація про потреби в запасних частинах до силових агрегатів.

Деталі групи В більш довговічні з розглянутої групи основних деталей силових агрегатів.

Ресурс деталей групи С приблизно однаковий для обраних категорій експлуатації.

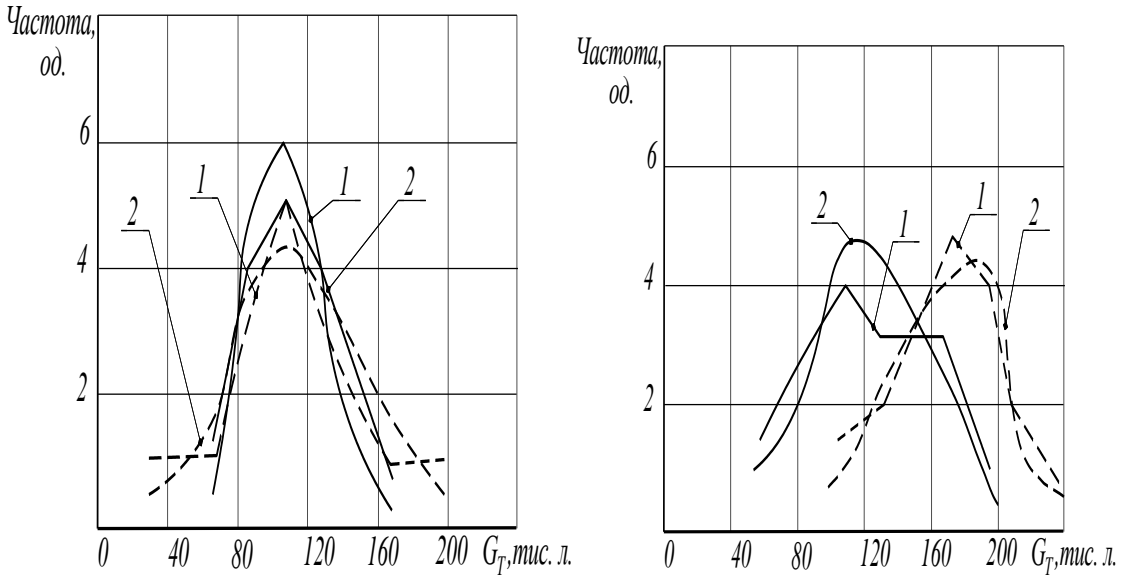
Розрахунок статистичних характеристик емпіричних рядів і вирівнювання емпіричних частот за найбільш поширеними теоретичними законами на ЕОМ показав узгодження дослідного розподілу теоретичному нормальному закону з наступними значеннями його параметрів:

$Q_{сум}$ = 162000 л, δ = 6900 л і V = 0,213;

Для оцінки близькості дослідного розподілу до теоретичного закону був застосований критерій згоди Пірсона - χ^2, чисельне значення якого для групи СМВП, що не були в капітальному ремонті, склало χ^2 = 1,1, а для машин, які пройшли капітальний ремонт, χ^2 = 1,9.

Ймовірність збігу дослідних і теоретичних даних, тобто ймовірність підпорядкування їх закону нормального розподілу при чисельному значенні χ^2=1,1 склала 61%, а для χ^2 = 1,9 - 93%.

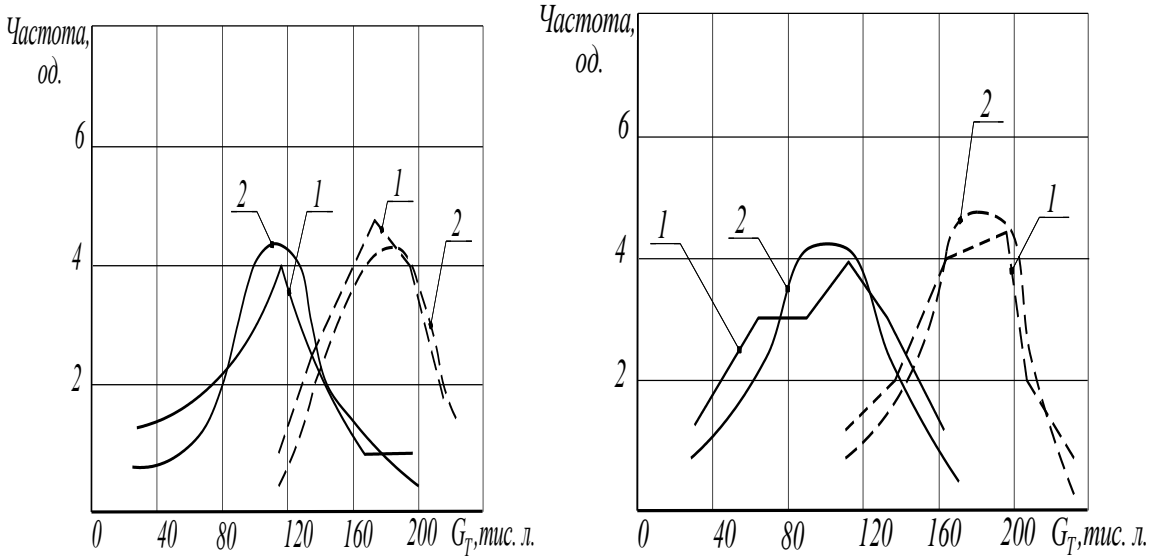
На рис. 1 показані полігон розподілу і диференціальна функція теоретичного закону розподілу попиту на деталі групи А силових агрегатів машин КамАЗ, що експлуатуються в обраних категоріях експлуатації, а на рис. 2 – на деталі груп В і С.



а) б)

1- полігон розподілення; 2-диференційна функція теоретичного закону розподілення
- - деталі середнього моста; --- - деталі головної передачі;
- - деталі заднього моста - - - деталі коробки передач

Рисунок 1 - Розподіл попиту на деталі групи А машин КамАЗ:
а) для ведучих мостів; б) для двигуна і коробки передач



а) б)

1-полігон розподілення; 2-диференційна функція теоретичного закону розподілення
---------- - деталі групи В; - - - - - - - - деталі групи С

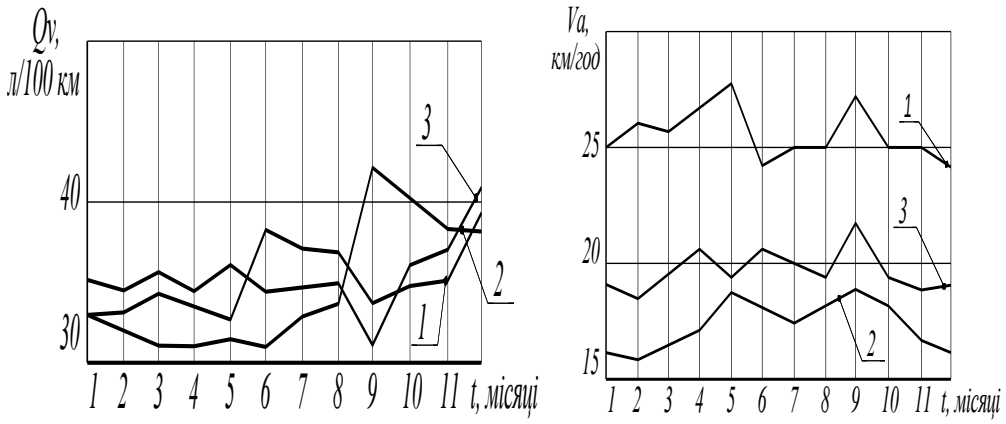
Рисунок 2 - Розподіл попиту на деталі групи В і С машин КамАЗ:
а) для двигуна; б) для коробки передач

Критичною ймовірністю збігу прийнято вважати ймовірність 10%. Якщо ймовірності менше 10%, вибраний теоретичний закон вважається непридатним.

Порівнюючи отримані результати статистичної обробки даних експериментальних спостережень для деталей груп С машин нових з результатами для машин, які пройшли

капітальний ремонт силових агрегатів, що величини $Q_{сум}^{кр}$, $Q_{сум}^{н}$ відрізняються незначно. Це говорить про те, що висновки, зроблені про попит на запасні частини групи С, правомірні і для силових агрегатів, які пройшли КР, бо попит на ці деталі приблизно однаковий.

Зовнішні умови роботи СМВП визначають навантажувально-швидкісний режим їх роботи. Навантажувально-швидкісний режим в залежності від зовнішніх умов роботи може бути охарактеризований такими експлуатаційними чинниками: витратою палива (Q) в л/100 км пробігу, повною вагою (G_a) і швидкістю руху (V_a). Вони постійно змінюються в деяких межах навіть при роботі машин на постійному маршруті. При роботі групи СМВП протягом року на постійному маршруті значення повної ваги, швидкості руху і витрати палива відрізнялися відповідно на 10,8...15,4%, 15,1...20,7%, 12,8...14,2%, а потреба в запасних частинах групи А для силового агрегату - на 10,8...18,8% (рис. 3 і рис. 4).



а) б)

Рисунок 3 – Зміна факторів протягом року експлуатації СМВП:
а) витрати палива; б) середня швидкість руху

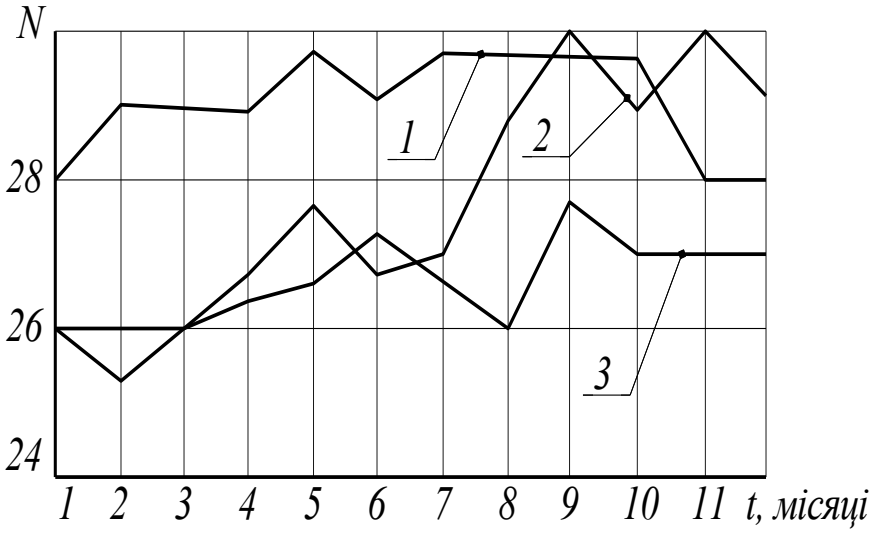


Рисунок 4 - Зміна потреби в запасних частинах групи А
протягом року експлуатації СМВП

Загальний аналіз графіків показує, що попит на запасні частини групи А залежить в основному від навантажувально-швидкісного режиму та індивідуальних особливостей конкретного двигуна. Яскраво виражена загальна тенденція зміни потреби в запасних частинах на протязі всього пробігу при зміні витрати палива, повної ваги і швидкості руху СМВП.

Аналіз залежності зміни ресурсу двигуна і трансмісії від середньої технічної швидкості руху, повної ваги, витрати палива в літрах на 100 км пробігу, а також конструктивних і експлуатаційних факторів показує істотний вплив їх на прогноз залишкового ресурсу сполучень двигуна і трансмісії. Тому при евристичній оцінці потреби в запасних частинах груп А і В для силових агрегатів слід використовувати закономірності зношування сполучень від названих факторів. У цьому зв'язку безпосередня робота експерта над оцінкою потреби в запасних частинах для силових агрегатів здійснюється за кількістю СМВП на підставі рівняння:

$$N_{34}^{н} = \frac{m_3 \cdot A_{сп}}{100} K_{ву}, \quad (1)$$

або за сумарною витратою палива за рівнянням

$$N_{34}^{н} = \frac{100 Q_{сум}^{н} K_{ву}}{H}, \quad (2)$$

де $N_{34}^{н}$ - нормативна потреба в запасних частинах груп А і В, силових агрегатів для заданих умов експлуатації;

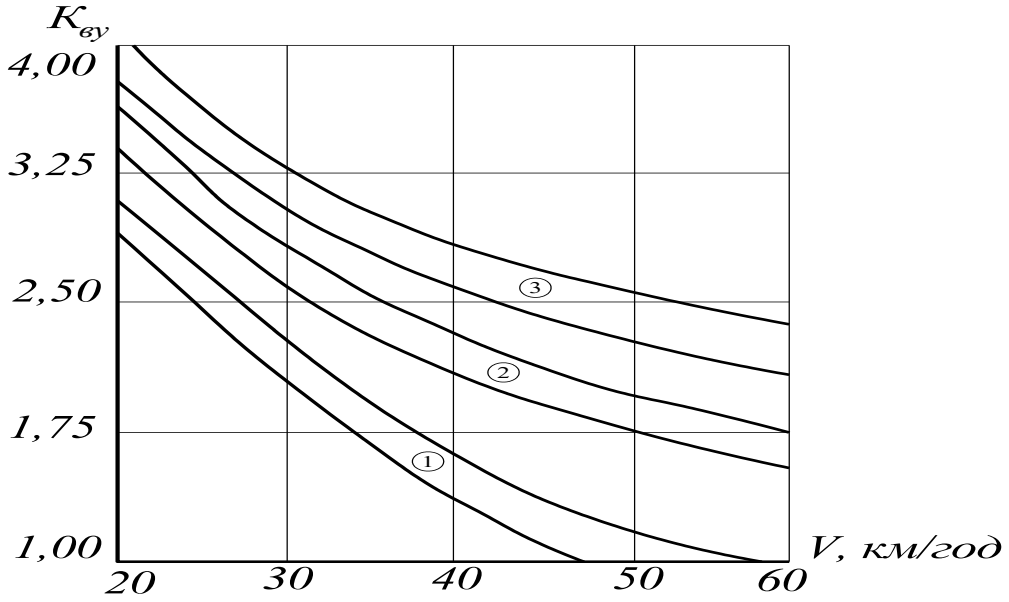
$K_{ву}$ - коефіцієнт, що враховує зовнішні умови на майбутні періоди експлуатації.

Встановити чисельні значення коефіцієнта, які характеризують зовнішні умови експлуатації силового агрегату СМВП, можна графічно (рис. 5) або на основі залежності:

$$K_{ву} = 1{,}1 V_{опт} / V_a - 0{,}1(G_a / G_n - 1). \quad (3)$$

Оптимальне значення середньої технічної швидкості руху визначається наближено з рівняння $V_{опт} = (0{,}6...0{,}7) V_{\max}$.

Менше значення оптимальної середньої технічної швидкості руху слід приймати для порожньої СМВП, а проміжні та більші оптимальні значення відповідно для СМВП з вантажем і з причепом.



1 - порожня машина; 2 - повністю завантажена;
3 - повністю завантажена з причепом

Рисунок 5 - Залежність коефіцієнта зовнішніх умов від швидкості руху та завантаження СМВП

Запропоновані евристичні методи прогнозування можуть використовуватися фахівцями автомобільного транспорту для планування та управління технічною службою автопідприємств, а також при виборі зовнішніх умов експлуатації з метою збільшення ресурсу силового агрегату.

Список використаних джерел:

1. Аулін В.В., Гриньків А.В., Сергійчук А.А., Ляшук О.Л. Використання ймовірнісно-логічного діагностування технічного стану машин в розробці системи технічного обслуговування і ремонту. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції "Крамаровські читання" з нагоди 117-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 22-23 лют. 2024 р., м. Київ. К. : Видавничий центр НУБіП України, 2024. С. 103 – 105.

2. Кашканов А.А., Москалюк М.Л. Методи обґрунтування запасів запасних частин у системі управління транспортним процесом. Вісник машинобудування та транспорту, 2024. №1(19), С. 68-74. https://doi.org/10.31649/2413-4503-2024-19-1-68-74.

3. Поляков А. П., Антонюк О. П., Галущак Д. О. Організація забезпечення запасними частинами автотранспортних підприємств. Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. 2012. Вип. 36. С. 238-240.

Мороз Лариса Василівна – ст. викладач, кафедра військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: morozlarisa764@gmail.com.

Варчук Вячеслав Володимирович – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

Larisa Vasylivna Moroz – senior Lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: morozlarisa764@gmail.com.

Vyacheslav Volodymyrovych Varchuk – Assistant Professor, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

УДК 691.175

Мороз Л. В., Варчук В. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ПОТРЕБУ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ З ЇХ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ

Анотація. *Проведені дослідження, в результаті яких отримані необхідні дані, що дозволяють оцінити застосовність побудованої математичної моделі прогнозування потреби в запасних частинах для силових агрегатів спеціальних машин військового призначення в реальних умовах експлуатації.*

Ключові слова*: потреба, запасні частини, деталь, двигун, трансмісія, прогнозування, математична модель.*

Annotation. *Studies were conducted, as a result of which the necessary data were obtained, allowing to assess the applicability of the constructed mathematical model for predicting the need for spare parts for power units of special military vehicles in real operating conditions.*

Keywords: *need, spare parts, part, engine, transmission, forecasting, mathematical model.*

Перевірка і реалізація розроблених теоретичних положень з прогнозування потреби в запасних частинах деталей і сполучень двигунів і трансмісій спеціальних машин військового призначення (СМВП) вимагала проведення досліджень, в результаті яких отримані необхідні дані, що дозволяють оцінити застосовність побудованої математичної моделі прогнозування в реальних умовах експлуатації.

На підставі отриманих даних розраховувалися параметри, що характеризують умови роботи силових агрегатів.

В якості основного об’єкта дослідження прийняті деталі циліндро - поршневої групи (ЦПГ) і кривошипно -шатунного механізму (КШМ) двигуна КамАЗ-740.

У двигунах СМВП використовуються деталі ЦПГ і КШМ різного ремонтного розміру, а вартість замінних деталей становить 20...35% від вартості агрегату.

Як правило, деталями, знос яких впливає на експлуатаційні показники ЦПГ і КШМ двигуна, є поршневі кільця, поршні, гільзи циліндрів, вкладиші підшипників колінчастого валу. До 86% двигунів виходять з ладу через зношування деталей ЦПГ і КШМ.

При заміні деталей ЦПГ і КШМ двигунів потрібна велика трудомісткість ремонтних робіт, а також зазвичай вимагається заміна прокладок, сальників та інших дрібних деталей. Це викликає простої машин в ремонті і витрату запасних частин для силових агрегатів.

Відзначимо, що показники надійності машин та їх елементів прийнято визначати стосовно базової моделі. Тому в якості базового агрегату прийнятий двигун КамАЗ-740. Його встановлюють на багатьох моделях СМВП.

При розгляді надійності, а так само інших якісних характеристик машин, агрегатів, вузлів та їх елементів доводиться мати справу з великим числом факторів різного характеру і різним ступенем їх впливу на окремі властивості.

Спеціальні машини військового призначення, як об’єкт дослідження при впливі різних факторів є погано організованою системою, тобто дифузійною, в якій важко виділити ступінь впливу певних факторів.

Основним методом дослідження таких систем є статистичний.

Основною метою даного експериментального дослідження є отримання необхідної статистичної інформації та відповідна обробка її для визначення фактичної потреби в запасних частинах і характеристик надійності силових агрегатів в різних умовах експлуатації, а також для перевірки математичної моделі прогнозування потреби в запасних частинах.

Виходячи з сформульованих вище вимог, методика збору статистичної інформації будувалася з урахуванням необхідності отримання достовірних і повних даних про відмови і знос деталей силових агрегатів, а також отримання даних про зовнішні умови, на основі яких визначається фактична витрата запасних частин до них.

Задача перевірки коректності побудованої математичної моделі прогнозування потреби в запасних частинах полягає в доказі правильності покладеного в основу побудови моделі допущення про те, що критерієм втрати працездатності силових агрегатів є знос сполучень механізмів, і встановлення адекватності результатів, отриманих при розрахунку по математичній моделі в процесі експлуатації.

Згідно поставленим цілям і завданням дослідження проводилися в два етапи.

Перший етап проводився для перевірки прийнятого допущення про критерії виходу з ладу деталей силових агрегатів і визначення чисельних значень швидкості зношування, а так же характеристик умов експлуатації, що входять в розрахункові залежності. Завданням другого етапу експлуатаційних досліджень була перевірка застосовності отриманих розрахункових залежностей прогнозування потреби в запасних частинах в реальних умовах експлуатації.

Для більш повного уявлення про характер попиту на запасні частини різних груп досліджувалися фактичні дані про пробіг з початку експлуатації, тривалість експлуатації, витрату палива, середню швидкість руху на маршрутах і зовнішні умови експлуатації.

Всі автомобілі, що знаходилися під наглядом, експлуатувалися в порівняно однакових кліматичних умовах (табл. 1). Таким чином, забезпечувалася якісно однорідна інформація, що підлягає обробці методами математичної статистики.

Таблиця 1 - Структура дослідного парку машин

Марка машини	Кількість, од.	Пробіг з початку експлуатації, тис. км	Тривалість експлуатації, роки	Категорія умов експлуатації
КамАЗ-5511	2	30	1	IV, V
	5	60	2	IV, V
	3	115	2	IV, V
	9	130	3	IV, V
	5	160	4	IV, V
	12	170	5	IV, V
	3	190	6	IV, V
	22	215	7	IV, V
	21	230	7	IV, V
	40	240	8	IV, V
	73	260	9	IV, V
	50	275	10	IV, V
КамАЗ-5320	8	290	10	IV, V
	39	370	11	IV, V
	24	415	12	IV, V

При дослідженнях надійності сполучень двигуна і трансмісії буває невідомо, яким законом розподілу може підкоритися досліджуваний параметр. В цьому випадку рекомендується визначати число підконтрольних N сполучень і деталей за наближеною формулою:

$$N = \lg(1 - P_x) / \lg(1 - \varepsilon_x) \quad (1)$$

Обробка дослідних даних про технічний стан і показники умов експлуатації силових агрегатів автомобілів заснована на використанні основних завдань математичної статистики, метою якої є знаходження параметрів і визначення закону розподілу, який найбільш точно описує статистичний матеріал.

Методика вирішення задач обробки вихідних даних про надійність силових агрегатів СМВП включає процеси отримання та обробки даних, які діляться на блоки:

1 - збір даних про технічний стан та їх систематизація;

2 - статистична обробка вибірок для визначення параметрів і видів законів розподілу;

3 - визначення параметрів генеральної сукупності;

4 - розробка висновків і пропозицій по номенклатурі запасних частин.

Блок 1 включає три групи. Статистичні дані піддавалися ретельному аналізу по вибірці однієї моделі автомобілів і року випуску, а також з близькими значеннями використовуваного ресурсу за сумарною витратою палива.

Залежно від типу вибірки проводиться подальша спеціалізація обчислювальних операцій. Для повних вибірок (блок 2) передбачається визначення характеру (випадковий - невипадковий) виділяються спостережень; визначення закону розподілу (перевірка за критеріями згоди).

Блок 3 включає параметричні і непараметричні способи порівняння вибірок. Параметричні способи поширюються на середні значення дисперсії, тобто на статистичні. Непараметричні способи передбачають значення всіх членів (варіантів) порівнюваних вибірок, тобто наявність первинної інформації. Якщо обрані критерії оцінки вибірки не належать одній генеральній сукупності, то необхідно перевірити раніше отримані результати. У цьому випадку методика передбачає зворотні зв'язки.

Блок 4 передбачає отримання висновків і пропозицій щодо вибору або обґрунтуванню номенклатури запасних частин для конкретного силового агрегату.

На підставі зібраних даних з вивчення потреби в запасних частинах контрольних груп машин КамАЗ (38 одиниць) і МАЗ (43 одиниці) побудовані діаграми накопичених частот, розподілу пробігів до заміни запасних частин за групами А, В, С для силових агрегатів, а також розподілу витрат часу на поставки запасних частин.

Для побудови статистичних характеристик потрібної номенклатури запасних частин за сумарною витратою палива (пробігу) розбивалася на *n* інтервалів досліджуваної групи деталей силового агрегату

$$n = 1 + 1{,}44 \cdot \ln(N), \tag{2}$$

де N - число елементів статистичного ряду.

Довжина інтервалу визначає потрібну кількість запасних частин з виразу:

$$A = \frac{П_{\max} - П_{\min}}{n}, \tag{3}$$

де $П_{max}$, $П_{min}$ - найбільше та найменше значення потрібного кількості запасних частин в групі.

За початок першого інтервалу прийнятий пробіг 30 тис. км. Дослідна ймовірність потрібної кількості запасних частин визначена з виразу:

$$P_i = \frac{m_i}{N}, \tag{4}$$

де m_i- дослідна частота в *i*-му інтервалі.

Середні значення, середні квадратичні відхилення і значення коефіцієнта варіації визначені за формулами:

$$\overline{t} = \sum_{i=1}^{n} t_{ci} \cdot P_i;\ \sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(t_{ci} - \overline{t}\right)^2 \cdot P_i};\ \nu = \frac{\sigma}{\overline{t}}, \tag{5}$$

де n - число інтервалів в статистичному ряді; t_{ci} - значення середини і-го інтервалу;

P_i - дослідна ймовірність і-го інтервалу по групі деталей силових агрегатів.

При обробці статистичних даних про потребу в запасних частинах до силових агрегатів по групах А, В, С було використано нормальний розподіл випадкової величини.

Випадкова величина ξ має нормальний розподіл з параметрами (m, σ^2), якщо

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \sigma}} e^{\frac{-(x-m)^2}{2\sigma^2}},\ x \in (-\infty, \infty). \tag{6}$$

Поряд з наведеним вище поданням щільності нормального розподілу використано наступне:

$$f(x)=\frac{\rho}{\sqrt{\pi}E}\exp\left\{\frac{\rho^2(x-m)^2}{E^2}\right\}, \tag{7}$$

де ρ = 0,4769 є рішенням рівняння.

$$\int_0^s e^{-x^2/2}dx=\sqrt{\pi}\ . \tag{8}$$

$E=\rho\sqrt{2\sigma}$ визначається з виразу

$$P(|\xi-m|\le E)=P(|\xi-m|>E)=0,5, \tag{9}$$

і називається серединним (або імовірнісним) відхиленням.

Характеристична функція:

$$\varphi(x)=\exp\left\{imt-\frac{t^2\cdot\sigma^2}{2}\right\}. \tag{10}$$

Моменти:

$$\mu_{2k+1}=0,\ \mu_{2k}=1\cdot3\cdot\ldots\cdot(2\mathrm{k}-1)\cdot\sigma^{2k}, \tag{11}$$

де $\mu_k=M\cdot(\xi-M\cdot\xi)^k$, $M\cdot\xi=m$, $D\cdot\xi=\sigma$

для к > 2

$$M\cdot\xi=m\cdot M\cdot\xi^{k-1}+(k-1)\cdot\sigma^2\cdot M\cdot\xi^{k-2}. \tag{12}$$

Коефіцієнти асиметрії та ексцесу дорівнюють нулю, мода і медіана збігаються.

Важливість ролі, яку відіграє нормальний розподіл, пояснюється тим, що при широких пропозиціях суми випадкових величин з ростом числа доданків поводяться асимптотично нормально. Відповідні умови складають зміст центральної граничної теореми. За допомогою лінійного перетворення $\eta=\frac{\xi-m}{\sigma}$ нормальний розподіл довільними параметрами (m, σ^2), приводиться до стандартного нормального закону з параметрами (0,1) і з функцією розподілу

$$\Phi(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{*}e^{-\frac{z^2}{2d\cdot z}}\ . \tag{13}$$

Табулюється, як правило, функція $\Phi_0(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{*}e^{-\frac{z^2}{2d\cdot z}}$ пов’язана з Ф (х) співвідношенням $\Phi(x)=0,5+\Phi_0(x)$.

Для обчислення Ф (х) при малих *х* можна використовувати вираз:

$$\Phi(x)=0,5+\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\left[x-\frac{x^3}{2\cdot3}+\frac{x^5}{2!\cdot2^2\cdot5}+\ldots(-1)\frac{n\cdot x^{2n+1}}{n!(2n+1)\cdot2^n}\ldots\right] \tag{14}$$

або відношення Міллса:

$$R(x)=\sqrt{2\pi}\,\frac{1-\Phi(x)}{e^{-x^2/2}}=\int_{*}^{\infty}e^{(x^2-y^2)/2dy}, \tag{15}$$

яке розкладається в безперервну дріб:

$$R(x)=\frac{1}{x+}\cdot\frac{1}{x+}\cdot\frac{2}{x+}\cdot\frac{3}{x+}\ldots\frac{n}{x+}\ldots, \tag{16}$$

Нормально розподілена випадкова величина з великою ймовірністю приймає значення, близькі до свого математичного сподівання, що виражається правилом сигм:

$$P\left\{\left|\xi - m\right| \geq k \cdot \sigma\right\} = \begin{cases} 0,3173..., k = 1 \\ 0,0455..., k = 2 \\ 0,0027..., k = 3 \end{cases}. \quad (17)$$

Найчастіше використовують правило трьох сигм.

Нормальний розподіл безмежно ділим. Якщо сума двох незалежних випадкових величин має нормальний розподіл, то і кожна випадкова величина має нормальний розподіл.

Список використаних джерел:

1. Аулін В.В., Ляшук О.Л., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Міронов Д.В., Слободян Л.М., Рогатинський Р.М. Оптимальний комплекс операцій технічного обслуговування і ремонту для підвищення надійності вузлів, систем та агрегатів мобільних машин. Збірник наукових праць. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. № 8(39), т. ІІ. 2023. С. 175-189.

2. Доктрина «Забезпечення матеріально-технічними засобами, роботами та послугами» (ВКП 4-160(03).01). Затверджена начальником Генерального штабу Збройних Сил України 21.01.2021 р.

3. Poliakov A., Antonyuk O., Ratsyborynskiy V. Identification of improvement ways of estimation method for nomenclature and quantity of spare parts. Tehnomus. New technologies and products in machine manufacturing technologies. Journal. 2013. No. 20. P. 34 - 39.

4. Поляков А. П., Антонюк О. П., Галущак Д. О. Організація забезпечення запасними частинами автотранспортних підприємств. Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. 2012. Вип. 36. С. 238-240.

Мороз Лариса Василівна – ст. викладач, кафедра військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: morozlarisa764@gmail.com.

Варчук Вячеслав Володимирович – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

Larisa Vasylivna Moroz – senior Lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: morozlarisa764@gmail.com.

Vyacheslav Volodymyrovych Varchuk – Assistant Professor, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

УДК 691.175

Поляков А. П., Варчук В. В.

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТРЕБИ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ ДО ДВИГУНІВ СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. *Запропоновані заходи щодо прогнозування потреби в запасних частинах для силових агрегатів спеціальних машин військового призначення: створення спеціального підрозділу служби забезпечення запасними частинами, основним інструментом якого повинен стати сучасний сайт; використання системи розподіленого обчислення за параметрами, які визначають навантаження і швидкісний режим експлуатації СМВП.*

Ключові слова*: бази даних, витрата палива, забезпечення запасними частинами, конструктивні особливості, швидкість руху.*

Annotation. *Proposed measures to forecast the need for spare parts for power units of special military vehicles: creation of a special unit for the service of providing spare parts, the main tool of which should be a modern website; use of a distributed computing system based on parameters that determine the load and speed mode of operation of the SMVP.*

Keywords: *databases, fuel consumption, spare parts supply, design features, speed.*

При зростаючій конкуренції автомобільні компанії вимушені знаходити нові форми організації збуту продукції і послуг, нові способи доступу і зв'язку із структурними підрозділами систем автосервісу, орієнтованих на ефективну роботу з клієнтом. Таким чином, в автосервісі виник новий напрям, що активно і перспективно розвивається - надання інформаційних послуг.

Одним з варіантів сучасної реалізації цього напряму є організація на базі існуючих дилерських автосервісних центрів будь - якого масштабу спеціального підрозділу служби забезпечення запасними частинами. Основним інструментом такого підрозділу повинен стати сучасний сайт, розміщений на сервері з доступом через Інтернет. Структура сайту наведена на рис.1.

Створення сайту і його подальша підтримка повинні проводитися із залученням організацій, що спеціалізуються на випуску запасних частин до спеціальних машин військового призначення (СМВП). При спільній роботі над проектом має бути поставлений і вирішений ряд завдань: розробка функціональної структури служби, постановка цілей і формулювання основних принципів роботи, створення сайту і його розміщення, можливість надання послуг з оплати через мережу тощо.

При розвитку дилерського центру, регіонального або зонального складу обсяги продажів можуть різко зростати, може відбуватися збільшення асортименту і кількості запасних частин, що зберігаються на складі. В той же час, при досить стабільному зростанні обсягів реалізації запасних частин, не завжди можливо оперативно збільшувати потужності складу. Отже, при обмеженнях на обсяги зберігання запасних частин і агрегатів скорочується періодичність замовлень, скорочуються постачання. Тобто, частота замовлень на поповнення складу збільшується. У разі програмної реалізації функції автоматичного складання замовлення, навантаження на ПК, що займається розрахунком обсягів постачання запасних частин, значно зростає. Це призводить до затримок видачі необхідної інформації по замовленнях.

Необхідно відмітити, що на обчислювальні потужності ПК можуть робити вплив множинні чинники, наприклад, установка нового програмного комплексу управління складом.

Існує декілька варіантів вирішення проблеми нестачі обчислювальних потужностей: Заміна застарілого устаткування або придбання додаткового, перехід на програмні рішення з меншими системними вимогами. В зв'язку з цим пропонується такий підхід до вирішення цієї задачі.

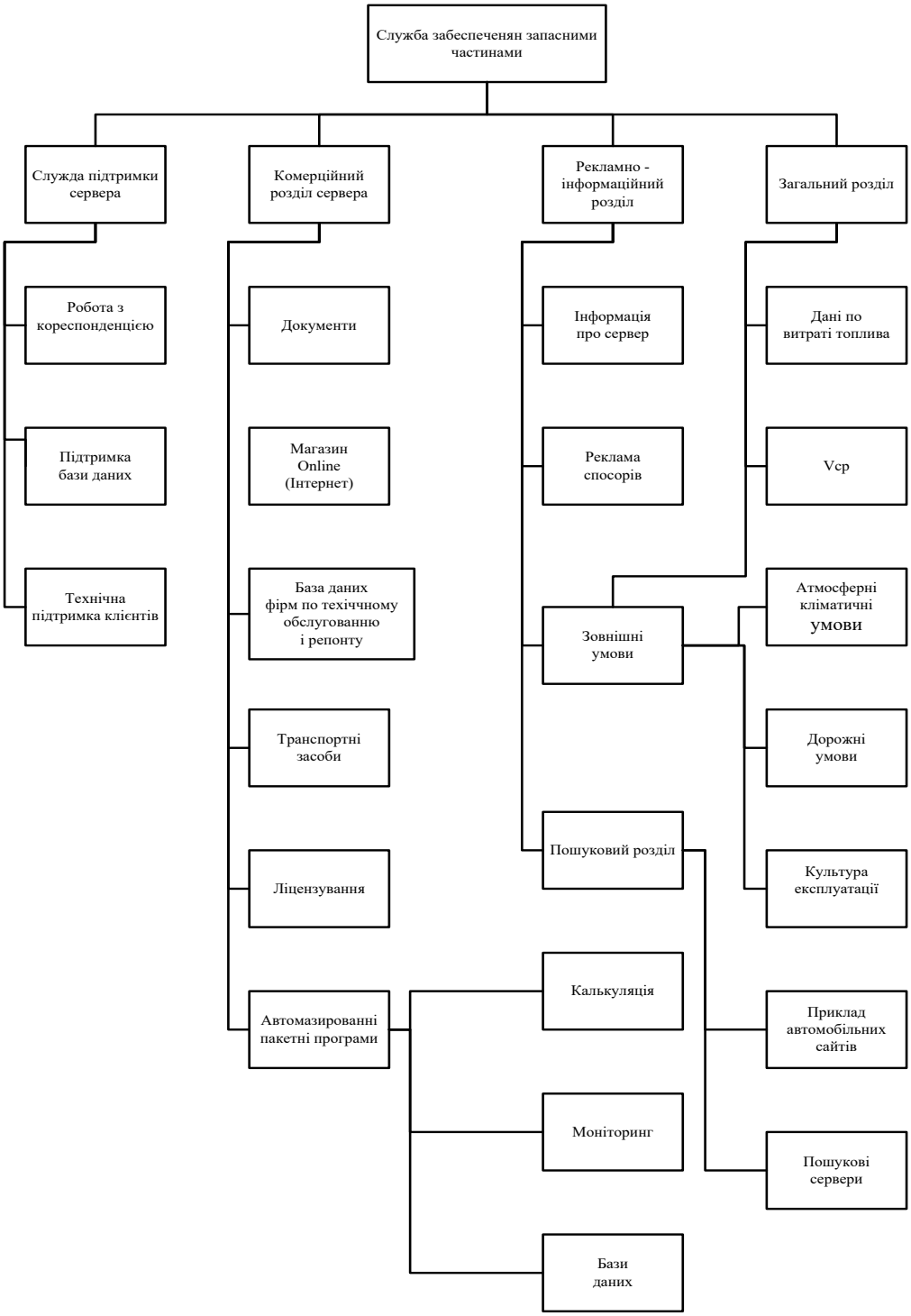


Рисунок 1 - Принципова схема структури сайту забезпечення запасними частинами

Результати проведених досліджень по ряду офісних комп'ютерів сучасних СТО дозволили встановити, що обчислювальні потужності більшості ПК, що знаходяться в локальній мережі, задіяні не більше ніж на 12%, тоді як сервер повністю завантажений. Очевидно, необхідно перерозподілити навантаження між серверами таі іншими комп'ютерами в мережі за рахунок модернізації алгоритму рішення задачі по забезпеченню запасними частинами так, щоб вона могла завантажуватися паралельно на багато комп'ютерів, тобто створити систему розподіленого обчислення. Система розподіленого обчислення може грунтуватися на наявному сервері клієнта, станціях обслуговування автомобілів, складів

запасних частин і засобах комунікації (локальній мережі, Інтернет). Принципова схема такою системи наведена на рис. 2.

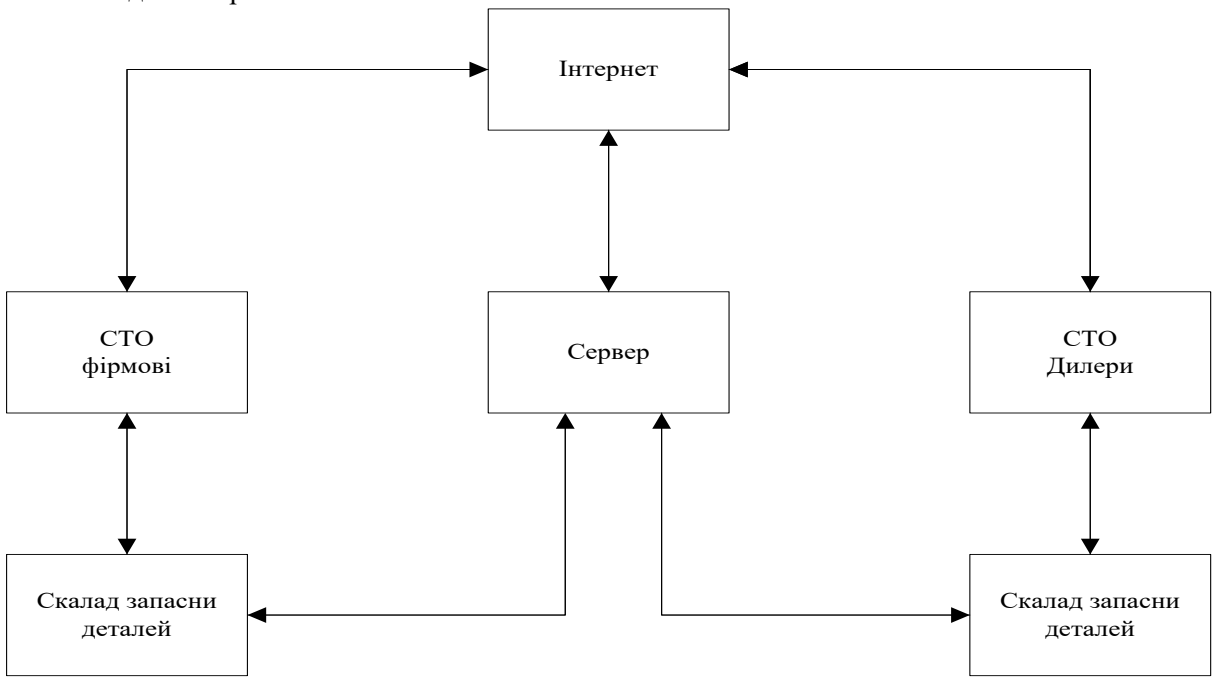


Рисунок 2 - Принципова схема моделі розподілених обчислень

Сервер розподіляє завдання між клієнтами, клієнти отримують частини загального завдання, розраховують їх і повертають серверу.

Програмне забезпечення сервера побудоване на основі систем управління базами даних і виконує наступні функції: розділення завдань на частини і надання їх клієнтам; прийом від клієнтів переліку запасних частин по марках СМВП; перевірку оригінальності кожної деталі, агрегату, для виключення дублювання; відомості запасних частин по групах і загальний розрахунок спожитої кількості запасних частин відповідно до номенклатури; ведення статистики по клієнтах, які замовили запасні частини.

Цей спосіб вирішення проблеми нестачі обчислювальних потужностей має ряд переваг перед іншими варіантами, а саме: менші витрати на впровадження, велику гнучкість, можливість розширення.

Управління експлуатацією СМВП здійснюється через відповідні норми. Чим об'єктивніше норми, тим оптимальніше управління, тим вище результативність перевезень і нижче витрати трудових, матеріальних і паливно - енергетичних ресурсів. У експлуатації СМВП нормується періодичність ТО, витрата запасних частин, термін служби рухомого складу і агрегатів та ін. Залежно від тривалості і умов експлуатації норми коригують, а також прогнозують на майбутній період. При цьому враховують рівень надійності автомобілів. Як правило, СМВП різних марок і моделей мають різний рівень надійності, що вимагає різних значень коефіцієнтів коригування. Збереження їх надійності за рахунок економічного витрачання ресурсу силових агрегатів - важливий засіб підвищення ефективності транспортного процесу. Позитивний ефект досягається шляхом зменшенням негативного впливу технологічних і експлуатаційних чинників, а також управлінням швидкісним режимом роботи машин в конкретних умовах.

Потреба в запасних частинах до силових агрегатів слід оцінювати за параметрами, які визначають навантаження і швидкісний режим роботи СМВП: швидкість руху, витрата палива, повна вага, конструктивні особливості.

Витрата ресурсу агрегату в цілому складається з показників ресурсу окремих деталей силового агрегату L_{ni}. Таким чином, утворюється система різнорідних показників витрати ресурсу деталей силового агрегату по групах А, В, С. Необхідно визначити питому частку λ

показника ресурсу по кожній групі деталей в загальному балансі витрати запасних частин. Прийнято вимагати, щоб сума питомих часток показників ресурсу деталей по усіх групах складала 100%.

Для зручності доцільно перейти від L_{Pi} до безрозмірних величин P_u.

При цьому рекомендується дотримання наступних вимог:

- якщо L_{Pi} має початкове значення $L_н$, то йому відповідає на початок введення в експлуатацію значення $P_u = 0$;

- якщо L_{Pi} має значення $L_{кр}$, при якому потрібен ремонт силового агрегату, то йому відповідає значення P_u, = 1, тобто повний обсяг деталей груп А, В, С;

- при витрачанні ресурсу L_{Pi} величина P_u зростає.

Тут доречно відмітити наступне. При переході від L_{Pi} до P_u величина $L_{кр}$ переходить в граничне значення $R_{іпред}$. При цьому, якщо дотримуються рекомендовані вимоги, $L_{кр}$ = 0 є мінімально допустимим значенням P_u.

Приведемо конкретний чин переходу від $L_{кр}$ до P_u. В даному випадку можна використати різні варіанти: по сумарній витраті палива; по пробігу силового агрегату з початку експлуатації або за результатами діагностичної оцінки ступеня зношеності сполучень силового агрегату.

Для агрегату перехід від $L_{крі}$ до P_u складає:

- по пробігу

$$R_i = \left(\frac{L_H}{L_{kp_i}} \right) \tag{1}$$

- по сумарній витраті палива

$$R_i = \left(\frac{Q_{ізр}}{Q_{сум}} \right) \tag{2}$$

- результатами діагностичної оцінки міри зношеності сполучень

$$R_i = \left(\frac{\delta_{ізм}}{\delta_{доп}} \right), \tag{3}$$

де $Lн$ - пробіг агрегату з початку експлуатації, км; $Lкрі$ - нормативне значення ресурсу агрегату до капітального ремонту, км; $Q_{ізр}$ - витрачена кількість палива з початку експлуатації агрегату (машини), л; $Q_{сум}$ - сумарна витрата палива, при якій агрегат потребує капітального ремонту, л; $\delta_{ізм}$, $\delta_{доп}$ - відповідно виміряне і допустиме значення діагностичного параметра міри зношеності сполучень силового агрегату для деталей групи С.

Для визначення сумарної витрати палива доцільно вибирати режими роботи двигуна, при яких значення питомої витрати палива мінімальні, тобто $g_e = g_{e\ min}$.. При такому режимі значення середнього ефективного тиску P_e=0,5P_{emax}, а швидкості обертання колінчастого валу - n=0,6*n_{max}, тоді потужність $N_{дв}$=0,3N_{max}, при якій питома витрата палива буде мінімальна. Крім того, слід прийняти швидкість руху машини такою, що відповідає найбільшому ресурсу силового агрегату, тобто

$$V_a = Д \cdot V_{\max}, км \tag{4}$$

Отже

$$Q_{сум} = \frac{0,3 \cdot N_{\max} \cdot g_{e\min} \cdot L_н}{\rho_т \cdot \delta \cdot V_{\max}}, л. \tag{5}$$

Значення сумарної витрати палива представлені для базових вантажних машин в табл. 1.

Таблиця 1 - Значення сумарної витрати палива

Марка машини	Сумарна витрата палива, л
ЗИЛ - 431410	88300
КамАЗ - 5320	74500
МАЗ - 53371	112500
КрАЗ - 250	85900

Сумарна витрата палива на транспортну роботу за планований період роботи рухомого складу визначається так

$$Q_{дд} = L_{пп} \cdot I \;\; L_{пп} = \left(I_i + I_a \cdot q \cdot y \cdot \beta\right), л \tag{6}$$

де $L_{пп}$ - пробіг машин за планований період, км; H_o, $H_д$ - відповідно основна і додаткова норми; q - середня вантажопідйомність машини, тонн; γ, β - коефіцієнти використання відповідно вантажопідйомності і пробігу.

Додаткові норми витрати палива за перевезений вантаж в л/100 ткм для карбюраторних і дизельних машин розраховуються за формулами:

$$H_Д^K = 1{,}12 \cdot V_{\max} / V_a \;, \tag{7}$$

$$H_Д^Д = 0{,}64 \cdot V_{\max} / V_a \tag{8}$$

Показник потреби в запасних частинах для силових агрегатів по СМВП в цілому рекомендується знаходити за формулою:

$$K_P^T = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \cdot R_i \;, \tag{9}$$

Тобто як суму показників *Ри* потреби в запасних деталях окремих силових агрегатів з урахуванням відповідної ваги.

Номенклатура запасних частин, приведена на 100 машин, коригується показником потреби в запасних частинах

$$N_3 = n_3 \cdot K_n / A_{сп} \;, \tag{10}$$

де n_3 - кількість запасних частин на 100 машин.

Експертна оцінка показала, що значення питомих часток показників ресурсу деталей розподіляється по силових агрегатах в співвідношенні, представленому в табл. 2.

Таблиця 2 - Значення питомих часток показників ресурсу силових агрегатів

Кількість осей машини		Групи деталей					
		Двовісні			Тривісні		
		А	В	С	А	В	С
Силовий агрегат	ЦПГ	0,30	0,25	0,20	0,30	0,20	0,20
	КШМ	0,20	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20
	КПП	0,2	0,25	0,15	0,20	0,20	0,20
	Середній міст	-	-	-	0,10	0,20	0,20
	Задній міст	0,20	0,25	0,20	0,10	0,20	0,20

Критерій потреби i_n в запасних частинах з урахуванням витрати палива і швидкості СМВП матиме вираз:

$$K_n = 1 / \left\lfloor Q_ф \cdot V_a / 0.7 \cdot Q_{\min} \cdot V_{\max} \right\rfloor \geq 1.0, \tag{11}$$

де $Q_ф$, Q_{min} - відповідно фактична і мінімальна сумарна витрата палива машини, л;

V_a, V_{max} - відповідно середня технічна швидкість і максимальна швидкість машини, км/год.

Для бортових вантажних машин і сідельних тягачів у складі автопоїздів, машин-фургонів і вантажопасажирських машин, що виконують роботу, яка обраховується в тонно-кілометрах, нормативна витрата палива розраховується за формулою:

$$Q_H = 0.01\left(H_{san} \cdot S + H_W \cdot W\right) \cdot \left(1 + 0.01 K_\Sigma\right), л \tag{12}$$

$H_{s\ на}$ - лінійна норма витрати палива на пробіг, л/100 км; Hw - норма витрати палива на транспортну роботу, л/100 т-км; W - обсяг транспортної роботи, т-км.

$$W = q_н \cdot \gamma \times \beta \cdot L_H \;, \tag{13}$$

де $q_н$ - номінальна вантажопідйомність, тонн; γ - коефіцієнт використання вантажопідйомності; β - коефіцієнт використання пробігу.

Критерій потреби в запасних частинах до силових агрегатів для вантажних машин і сідельних тягачів у складі автопоїздів, машин - фургонів з урахуванням виразів (11), (12), (13) і перетворень визначається за формулою:

$$K_{n_{ГА}} = 1 / \left\lfloor \frac{0,05 \cdot V_a \cdot \rho_m \cdot \delta}{N_{\max} \cdot g_{e\min}} \times \left(H_{san} + H_W \cdot q_H \cdot \gamma \cdot \beta \right) \cdot \left(1 + 0.01 \cdot K_{\Sigma} \right) \right\rfloor \le 1,0 \qquad (14)$$

Для машин - самоскидів і автопоїздів нормативна витрата палива визначається за формулою:

$$Q_H = 0.01 H_{sanc} \cdot S \cdot \left(1 + 0,01 K_{\Sigma} \right) + H_z \cdot Z, \qquad (15)$$

де *Hz* - норма витрати палива на їзду з вантажем машини-самоскида, л; *Z* - кількість їздок з вантажем, од.

Критерій потреби в запасних частинах для автомобілів - самоскидів і автопоїздів самоскидних з урахуванням виразів (6) і (10) матиме вигляд

$$K_{n_C} = 1 / \left\{ \frac{0.05 V_a \cdot \rho_m \cdot \delta}{N_{\max} \cdot g_{e\min}} \times \left[H_{sanc} \left(1 + 0.01 K_{\Sigma} \right) + H_z \cdot Z \right] \right\} \le 1.0 \qquad (16)$$

Приведений критерій характеризує організацію транспортного процесу, табл. 3.

Таблиця 3 - Характеристика організації транспортного процесу

Характеристика транспортного процесу	Відмінна	Добраа	Задовільна	Незадовільна
Показник потреби в запасних частинах	1,00…1,05	1,06…1,35	1,36…1,66	1,67 і більше

Проаналізувавши відомості, наведені в табл. 3, можна зробити висновок, що будь - які заходи, спрямовані на зменшення витрати палива або підвищення швидкості руху СМВП приведуть до зменшення потреби в запасних частинах силових агрегатів.

Слід розрізняти разом з вказаним вище показником ресурсу машини в цілому і експлуатаційний показник ресурсу машини. Експлуатаційний показник ресурсу СМВП встановлюється по мінімальному значенню *Ри* одного з силових агрегатів, тобто

$$K_P^{\epsilon} = R_{i\min} \qquad (17)$$

Показник витрачання ресурсу силових агрегатів для парку машин визначається з рівняння:

$$K_{АТП}^{T} = \frac{\sum_{i=1}^{n} K_{pi}^{T} A_i}{A_n} \qquad (18)$$

де A_i - облікова кількість СМВП.

Експлуатаційний показник витрачання ресурсу силових агрегатів для парку СМВП встановлюється по експлуатаційному значенню машини з рівняння:

$$K_{АТП}^{\epsilon} = \frac{\sum_{i=1}^{n} K_{ip}^{\epsilon}}{A_n} \quad . \qquad (19)$$

Для кількісної оцінки технічного стану парку СМВПв використовується коефіцієнт технічної готовності.

Коефіцієнт технічної готовності не відбиває повною мірою дійсний технічний стан парку, наприклад, термін експлуатації, пробіг, міру зношеності сполучень агрегатів тощо.

Для об'єктивної оцінки технічного стану парку доцільно використати таку залежність:

$$K_П = K_{АТП}^{\epsilon} / \alpha_T \quad , \qquad (20)$$

де α_T - коефіцієнт технічної готовності.

Як показали розрахунки і експериментальні дослідження, значення *Кп*>1,70 вказують на необхідність списання парку.

Ефективність експлуатації СМВП є відношенням показника потреби запасних частин для силових агрегатів до показника *З* витрат на технічне обслуговування, запасні частини, експлуатаційні матеріали тощо:

$$E = \frac{K_П}{З} \tag{21}$$

Отже, встановлено, що потребу в запасних частинах для силових агрегатів слід оцінювати за показником потреби в запасних частинах.

На відміну від коефіцієнта технічної готовності показник потреби в запасних частинах оцінює технічний стан рухомого складу не лише в даний момент часу, але і на майбутній період експлуатації (місяць, квартал, рік) з урахуванням майбутніх умов експлуатації СМВП.

Список використаних джерел:

1. Біліченко В. В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів : навчальний посібник / Біліченко В. В., Крещенецький В. Л., Кукурудзяк Ю. Ю., Цимбал С. В. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 118 с.

2. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів : технологія : підручник / О. А. Лудченко. – К. : Вища шк., 2007. – 527 с. : іл.

3. Поляков А.П. Формування потреби станцій технічного обслуговування автомобілів в запасних частинах для своєчасного обслуговування клієнтів / А.П. Поляков, О.П. Антонюк, Б.С. Маріянко // Вісник СНУ ім. Даля. – 2014. – №6(194). Частина 2 – с.62-63.

4. Про затвердження «Інструкції з обліку військового майна у Збройних Силах України». Наказ Міністерства оборони України від 17.08.2017 р. № 440. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1192-17#n11, вільний. (Дата звертання 14.09.2025). – Назва з екрана.

5. Доктрина «Забезпечення матеріально-технічними засобами, роботами та послугами» (ВКП 4-160(03).01). Затверджена начальником Генерального штабу Збройних Сил України 21.01.2021 р.

Поляков Андрій Павлович – доктор техн. наук, завідувач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: poliakovap61@gmail.com

Варчук Вячеслав Володимирович – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

Andriy Pavlovich Polyakov – doctor of technical sciences Sciences, Head of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: poliakovap61@gmail.com

Vyacheslav Volodymyrovych Varchuk – Assistant Professor, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

УДК 691.175

Поляков А. П., Мороз Л. В., Стороженко Я. В.

ОБҐРУНТУВАННЯ ЗМІНИ ПОТРЕБИ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ ДЛЯ СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНО ВІД ЗОВНІШНІХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Анотація. *У даній роботі досліджується вплив на зміну потреби в запасних частинах для силових агрегатів (двигуна і трансмісії) спеціальних машин військового призначення ряду експлуатаційних показників: середньої технічної швидкості руху, радіуса кочення колеса, технічного стану трансмісії, опору повітря, завантаження, витрати палива.*

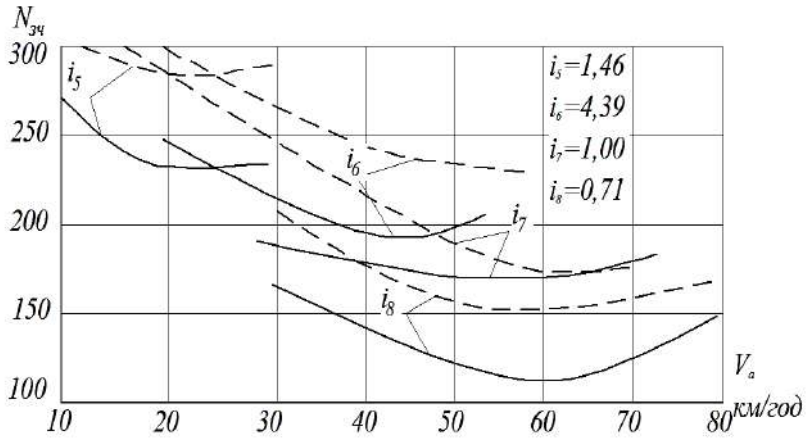
Ключові слова: *номенклатура запасних частин, транспортні і атмосферно-кліматичні умови, культура експлуатації транспортних засобів .ступінь використання вантажопідйомності.*

Annotation. *This paper examines the impact of a number of operational indicators on the change in the demand for spare parts for power units (engine and transmission) of special military vehicles: average technical speed, wheel rolling radius, technical condition of the transmission, air resistance, loading, fuel consumption.*

Keywords: *nomenclature of spare parts, transport and atmospheric and climatic conditions, culture of vehicle operation, degree of use of load capacity.*

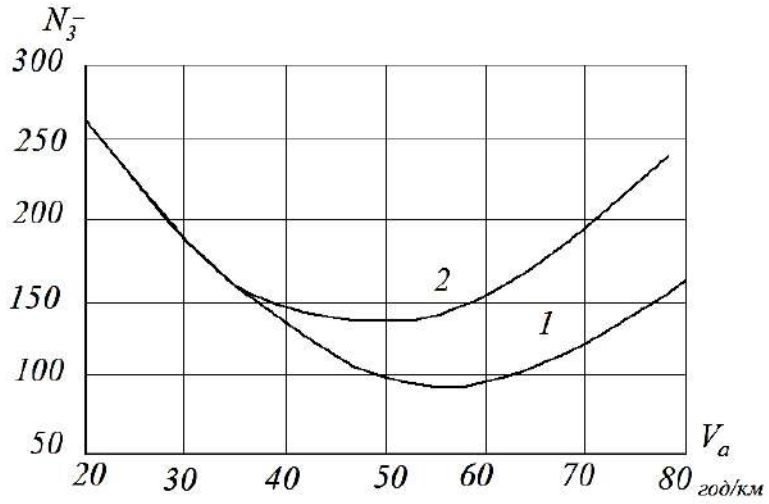
Велике різноманіття технологічних і експлуатаційних чинників, які зустрічаються в процесі тривалої експлуатації спеціальних машин військового призначення (СМВП), викликають різну швидкість зношування сполучень, що приводить до підвищення попиту на запасні частини у декілька разів.

На рис. 1 і рис. 2 показана зміна потреби в запасних частинах для двигуна і трансмісії СМВП залежно від середньої технічної швидкості руху і середнього ефективного тиску двигуна при русі їх на різних передачах. З рисунків видно, що найменша потреба в запасних частинах для двигуна і трансмісії спостерігається при русі машини на вищій передачі і найбільша - при русі на першій передачі. Кожній передачі відповідає швидкість руху машини, при якій потреба в запасних частинах для двигуна і трансмісії буде найменша.



---------- - Ре=400 кПа; - - - - - - - - Ре=600 кПа

Рисунок 1 - Зміна потреби в запасних частинах до силових агрегатів машини КамАЗ-5320 залежно від швидкості руху на різних передачах при постійному навантаженні



1 - за наявності обтічника над кабіною; 2 - за відсутності обтічника
Рисунок 2 – Зміна витрати запасних частин для силових агрегатів машини КамАЗ-5320

Визначимо швидкість руху СМВП, при якій потреба в запасних частинах до силових агрегатів буде найменшою. Продиференціюємо двічі рівняння швидкості зношування сполучень двигуна і трансмісії по середній технічній швидкості руху і прирівнявши їх до нуля, отримаємо рівняння середньозваженого передатного числа трансмісії, що має дійсне рішення і два комплексно зв'язаних рішення.

Використовуючи формулу Кардано для вирішення кубічного рівняння і зважаючи на тільки дійсне рішення, отримаємо:

$$i_{cp} = \frac{z_к}{0,7 \cdot 10^{-2} \cdot V_{\max}} \cdot \sqrt{\frac{1}{V_n \cdot \eta_{TP}} \left(\frac{0,14 \cdot k_r \cdot V_{\max} \cdot V_a^3}{G_a} - 3,85 \cdot k \cdot F \right)}. \qquad (1)$$

З отриманого рівняння виходить, що потреба в запасних частинах до силових агрегатів залежить від передатного числа головної передачі. При збільшенні передатного числа головної передачі спостерігається найменша потреба в запасних частинах при найменших середніх технічних швидкостях руху автомобіля. Це необхідно враховувати при призначенні умов експлуатації для машин - тягачів, автобусів, самоскидів і інших машин, які мають різні значення передатного числа головної передачі.

СМВП, на яких встановлені дільники перед коробкою передач, мають декілька значень середніх технічних швидкостей рухи, при яких спостерігається найменша потреба в запасних частинах. Так, при збільшенні передатного числа головної передачі на 15 %, середня швидкість руху, при якій потреба в запасних частинах буде найменшою, зменшиться на 7...9 %.

Потреба в запасних частинах залежить також від радіуса кочення колеса. З математичних моделей швидкості зношування сполучень двигуна і трансмісії видно, що входить у вираз визначення постійних коефіцієнтів першого ступеня. Розрахунки показують, що зі зменшенням радіусу кочення колеса на 10% внаслідок зносу протектора і зменшення тиску повітря в шині потреба в запасних частинах збільшується на 8,9%.

Коефіцієнт корисної дії трансмісії залежить від технічного стану агрегатів і силової передачі. Для різних СМВП він в середньому змінюється в межах 0,8...0,9, а в залежності від технічного стану машини ККД трансмісії може змінюватися на 10...15%.

У разі збільшення ККД трансмісії на 10% потребу в запасних частинах знижується на 4...6%. Отже, при справному стані трансмісії, а також використанні належних мастильних матеріалів, знижується потреба в запасних частинах до силових агрегатів СМВП.

При русі машини на підвищеній швидкості значна частина енергії витрачається на подолання опору повітря. Це викликає додаткове навантаження на силові агрегати.

Фактор обтічності визначається як добуток коефіцієнта опору повітря на лобову площу автомобіля *F*. Коефіцієнт опору повітря знаходимо з рівняння:

$$K = \left[\frac{\rho \cdot T_0 \cdot P}{(253 + t) \cdot \rho_0} \right] \cdot C_k \qquad (2)$$

де ρ_o=0,125 кгс·с^2/м^4; T_0=288 К; C_x - безрозмірний коефіцієнт аеродинамічного опору;

t - температура повітря, °С.

Коефіцієнт опору повітря для вантажної машини знаходиться в межах 0,075...0,100.

Взимку, коли температура t = -25 °С, щільність повітря, а, отже, і сила опору повітря на 18% більше, ніж при температурі $t_п$ = 15 °С. Влітку при температурі t = 30 °С вона нижче на 6%.

Ці зміни необхідно враховувати, виконуючи розрахунки щодо потреби в запасних частинах.

Якщо тиск повітря коливається в межах 740...780 мм.рт.ст. величину ρ/ρ_0 можна прийняти постійною.

Коефіцієнт аеродинамічного опору C_x залежно від форми і силуету кузова для вантажної машини змінюється в межах 0,6...0,8.

Поліпшення аеродинамічних якостей СМВП - резерв зниження потреби в запасних частинах до силових агрегатів.

Наприклад, при зниженні для вантажних машин значень C_x від 0,7 до 0,5 потреба в запасних частинах для двигуна і трансмісії знижується на 18%.

Для автопоїздів потрібно враховувати опір повітря на кожен причіп. З достатньою точністю можна прийняти, що кожен причіп збільшує опір на 20% .

Висота СМВП при перевезенні великогабаритних вантажів і контейнерів різко зростає, тому підвищується потреба в запасних частинах, пов'язана із збільшенням опору повітря.

При роботі автопоїздів з високими швидкостями руху (більше 60 км/год) для зменшення аеродинамічного опору встановлюють під кабіною машини обтічники.

Застосування обтікачів знижує потребу в запасних частинах для силових агрегатах до 14%.

На рис. 2 показано зміну потреби в запасних частинах до силових агрегатів машини КамАЗ з різними значеннями фактора обтічності k_F. Значення отримано розрахунковим шляхом.

З рис. 2 випливає, що при малих швидкостях руху (20...40 км/год) потреба в запасних частинах практично не залежить від фактора обтічності і її можна не враховувати.

При великих швидкостях СМВП (більш 60 км/год) потреба в запасних частинах залежно від фактора обтічності збільшиться на 8...12%, що дуже важливо враховувати при міжміських перевезеннях вантажів.

Вплив на потребу в запасних частинах для двигуна і трансмісії має також середня технічна швидкість руху машин.

При збільшенні швидкості руху машини витрата запасних частин спочатку зменшується, а потім збільшується. Це пояснюється тим, що, з одного боку, швидкість обертання колінчастого вала двигуна на 1 км шляху зменшується, а з іншого - зростає середній ефективний тиск на подолання опору повітря.

При малих швидкостях руху швидкість зношування сполучень силових агрегатів різко зростає, тому потреба в запасних частинах для двигуна і трансмісії зростає.

При швидкості руху 0,6...0,7 V_{max} потреба в запасних частинах для двигуна і трансмісії найменша.

В цілому найменша потреба в запасних частинах спостерігається при оптимальній швидкості руху СМВП (з урахуванням їх завантаження):

$$V_{опт} = \sqrt[3]{z \cdot G_a} \qquad (3)$$

де $z = \dfrac{\left[V_h \cdot \eta_{TP} \cdot r_k \cdot (0,7 \cdot 10^{-2} \cdot i_k \cdot V_{\max})^2 + 3,85 \cdot k \cdot F \right]}{0,14 \cdot k_Г \cdot V_{\max}}$ - постійний коефіцієнт для даної машини.

На рис. 3 показані залежності потреби в запасних частинах для двигуна і трансмісії СМВП при різному завантаженні.

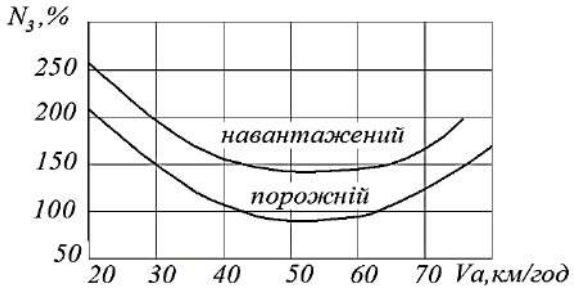


Рисунок 2.3 - Зміна потреби в запасних частинах до силових агрегатів СМВП КамАЗ-5320 від швидкості руху та маси машини

З рисунків видно, що в разі великих значень швидкості руху ($Va>0,6...0,7V_{max}$) потреба в запасних частинах для двигуна і трансмісії більше, ніж при швидкості $0,6...0,7\ V_{max}$.

При зменшенні швидкості руху потреба в запасних частинах для двигуна і трансмісії також збільшується.

Якщо швидкість СМВП 20 км/год, то потреба в запасних частинах для двигуна і трансмісії збільшується в середньому в 3,5 рази в порівнянні з мінімальною потребою в запасних частинах при швидкості 50...60 км/ч.

З точки зору зниження потреби в запасних частинах, збільшення ресурсу силових агрегатів, паливної економічності та безпеки руху доцільно рухатись зі швидкістю $0,6...0,7\ V_{max}$.

При збільшенні швидкості до максимальної потреба в запасних частинах до двигуна і трансмісії збільшується в 1,5...2 рази.

Таким чином, при раціональному виборі швидкостей руху можна домогтися значного зниження потреби в запасних частинах для двигуна і трансмісії.

Розглянемо, як впливає на потребу в запасних частинах для двигуна і трансмісії маса СМВП.

Зі збільшенням маси спостерігається збільшення потреби в запасних частинах для двигуна і трансмісії, а також зсув зони найменшою потреби в запасних частинах для силових агрегатів в бік більших значень середньої технічної швидкості руху.

Це пояснюється тим, що зі збільшенням маси машини збільшується середній ефективний тиск в циліндрах двигуна і змінюється сумарна кількість обертів колінчастого вала двигуна на 1 км шляху.

Очевидно, що експлуатація СМВП з більшим завантаженням (2...3 причепа) доцільно на дорогах з удосконаленим покриттям, для яких коефіцієнт сумарного дорожнього опору мінімальний.

Зі сказаного вище випливає, що в процесі експлуатації СМВП можна домогтися зниження потреби в запасних частинах для двигуна і трансмісії в результаті вибору в різних межах середньої технічної швидкості руху, маси і маршрутів з найменшим сумарним опором дороги.

Цьому сприяє також застосування відповідних марок палива, масел, підвищення кваліфікації водіїв.

В процесі експлуатації роботоздатність агрегатів СМВП, відновлюють послідовної заміною новими деталями або відновленими. Саме запасні частини є одночасно і базою, і інструментом резервування надійності машин через нерівноміцність деталей і сполучень силових агрегатів.

Доцільно розробити номенклатуру і методи розрахунку номенклатури запасних частин, а також прогнозування потреби їх на заданий період часу по швидкості зношування. При цьому слід використовувати облік фізичних характеристик, які показують вплив на витрату запасних частин конструктивних, технологічних та експлуатаційних показників. Тому в роботі розглянуті методи оцінки потреби в запасних частинах для силових агрегатів СМВП, які

принципово відрізняються від існуючих. Установлено такий методичний підхід, який враховує при оцінці потреби в запасних частинах дорожні, транспортні і атмосферно-кліматичні умови, культуру експлуатації транспортних засобів, а також ступінь використання вантажопідйомності, причепів, умов навантаження та розвантаження, швидкість руху, якість конструкцій і виготовлення тощо.

Залежно від складності зовнішніх умов експлуатації СМВП потреба у запасних частинах встановлюється для тих зовнішніх умов експлуатації, потреба в яких виявлена. Тому для формування потрібної номенклатури запасних частин слід використовувати показники зміни ресурсу сполучень в магістральному і міському циклах з різним ступенем завантаження.

Ці показники характеризують зміну потреби в запасних частинах залежно від вантаження і швидкісного режиму роботи машин. Однак, число факторів, що впливають на витрату запасних частин, дуже велике. Тому в основу формування номенклатури запасних частин покладений розрахунково-статистичний метод.

Оцінка потреби в запасних частинах проводиться за допомогою аналізу роботи СМВП за умовами експлуатації, що дозволяє визначити вплив особливостей роботи силових агрегатів в конкретних умовах на зміну потреби в запасних частинах конкретного найменування.

Передбачається також застосування дослідно-експериментального методу в тих випадках, коли експлуатується невелика кількість СМВП даної моделі і розрахунково-статистичний метод не може бути застосований через відсутність фактичних даних про потребу в запасних частинах.

Пропонований аналітичний метод оцінки потреби в запасних частинах принципово відрізняється тим, що математична модель базується на швидкості зношування сполучень силових агрегатів, що враховує енергетичні витрати на виконання транспортної роботи, індивідуальні особливості і технічний стан конкретної СМВП.

Потреба в запасних частинах еквівалентна кількості витраченого двигуном палива, яке характеризує енергетичні витрати на виконання транспортної роботи. Потреба в запасних частинах певного найменування встановлюється за рівнянням

$$N_3 = \frac{0,01 \cdot H_л \cdot l_{cc} \cdot (1,045 - 0,003 \cdot \mathrm{t}_в) \cdot n_3 \cdot Д_{рп} \cdot \alpha_m}{Q_c \cdot K_p} \qquad (4)$$

де $H_л$ - лінійна норма витрати палива, л/100 км; l_{cc} - середньодобовий пробіг автомобіля, км; $t_в$ - температура навколишнього повітря, °С; n_3 - кількість деталей одного найменування, встановлюваних на СМВП; K_p - коефіцієнт обліку витрати ресурсу сполучень; $Д_{РП}$ - дні роботи протягом року, дні; a_m - коефіцієнт технічної готовності; Q_c - сумарна витрата палива, еквівалентна ресурсу деталей (запасних частин), л.

Потреба в запасних частинах для СМВП грунтується на вантажно-швидкісному режимі роботи в заданих умовах. У цьому зв'язку середній ефективний тиск визначається при мінімальному значенні питомої витрати палива ($g_e=g_{emin}$), а швидкість руху машини прийнята рівною крейсерській, тобто $V_a=0,7V_{max}$. Ці умови відповідають найбільшому ресурсу деталей, вузлів і агрегатів.

Враховуючи сказане вище, сумарна витрата палива за весь період експлуатації деталі (вузла, агрегату) складає

$$Q_c = \frac{AL_H \cdot V_{\max}^2 \cdot q_{e\min}}{V_h \cdot \eta_{mp}} \cdot (0,011 \cdot \mathrm{G}_П + 0,003 \cdot kF \cdot V_{\max}^2) \qquad (5)$$

де A - постійний коефіцієнт для даної СМВП; V_{max} - найбільша швидкість руху машини, км/год; V_h - об'єм двигуна, л; g_{emin} - найменша питома витрата палива, г*кВт/год; η_{mp} - ККД трансмісії; G_n - вага порожньої машини, н; k_F - фактор обтічності, н*м^2.

Список використаних джерел:

1. Поляков А.П. Метод формування необхідної кількості запасних частин для ремонту засобів транспорту [Електронний ресурс] / А.П. Поляков, О.П. Антонюк, Д.О. Галущак, О.О. Галущак // Наукові праці ВНТУ. – 2012. – №2. – С. 1-5. – Режим доступу до журналу:

http://www.nbuv.gov.ua/ejournals/vntu/2012_2/2012-2.files/uk/12apptmr_ua.pdf.
2. Strelnikov V.P., Strelnikov P.V. Defining the nomenclature of the spare parts sets and calculating the number of single sets of spare parts. Mathematical machines and systems. 2022. N 2. C. 83–90. https://doi.org/10.34121/1028-9763-2022-2-83-90.
3. Бойовий статут "Логістика Сухопутних військ Збройних Сил України" (тактичний рівень). Наказ Командувача Сухопутних військ Збройних Сил України від 30.03. 2021 р. № 218. [Електронний ресурс] Режим доступу chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2024/02/2-4-3211.01.pdf.
4. Доктрина «Забезпечення матеріально-технічними засобами, роботами та послугами» (ВКП 4-160(03).01). Затверджена начальником Генерального штабу Збройних Сил України 21.01.2021 р.

Поляков Андрій Павлович **-** доктор технічних наук, завідувач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: poliakovap61@gmail.com.

Мороз Лариса Василівна — ст. викладач, кафедра військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: morozlarisa764@gmail.com.

Стороженко Ярослав Валерійович — студент групи 2АТ-24м, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: farv@vntu.edu.ua

Andriy Pavlovych Polyakov - doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: poliakovap61@gmail.com.

Larisa Vasylivna Moroz - senior Lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: morozlarisa764@gmail.com.

Storozhenko Yaroslav Valeriyovych — student of group 2AT-24м, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: farv@vntu.edu.ua

УДК 355.40(075)

Чабан М. А., Колесникова І. М., Домненко М. Г.

УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ ВІЗУАЛЬНОЇ РОЗВІДКИ

Анотація: *у роботі йдеться про саморобні оптоелектронні системи спостереження, які можна використовувати у денну і нічну пору доби для ведення візуального спостереження за противником (об'єктом охорони), а також для огляду важкодоступних місць інженерних споруд та будівель.*

Ключові слова: *противник, візуальне спостереження, огляд, відеокамера, тепловізор.*

Abstract: *the paper deals with optoelectronic surveillance systems that can be used day and night for visual surveillance of the enemy (security object), as well as for inspection of hard-to-reach places of engineering structures and buildings.*

Key words: *enemy, visual surveillance, inspection, video camera, thermal imager.*

Для прийняття рішення на ведення бойових дій командир має постійно отримувати розвідувальну інформацію щодо зміни оперативної обстановки. Для цього у підрозділах і військових частинах зорганізується постійний збір різноманітної інформації щодо місця розташування і дій противника.

Збір інформації – це процес, із якого починається вся інформаційна робота. Він полягає в отриманні інформації від спеціально виділених спостерігачів та особового складу підрозділу повідомлень усіх видів по різних каналах зв'язку. Цей початковий процес – найважливіший для всіх наступних інформаційних процесів, для інформаційної діяльності в цілому. Інформаційні повідомлення, зафіксовані в документах і на інших носіях інформації, збираються та фіксуються у відповідних документах.

Збір розвідувальних відомостей полягає в систематичному і своєчасному їх одержанні від різних джерел. Основні джерела надходження розвідувальних відомостей:

- органи розвідки, які ведуть розвідку;
- командир і штаб підрозділу;
- особовий склад свого підрозділу;
- вищий та взаємодіючі штаби, підрозділи;
- полонені, перебіжчики, місцеві жителі;
- документи, зразки озброєння і військової техніки, які були захоплені у противника;
- довідкові матеріали (довідки, карти, описи тощо).

На рівні різноманітних підрозділів збір розвідувальної інформації здійснюється способом спостереження. Спостереження ведеться особисто всіма командирами, офіцерами штабів і спеціально призначеними спостерігачами в підрозділах із усіх спостережних і командно-спостережних пунктів, а також спостережними постами, що забезпечуються приладами спостереження і засобами зв'язку. У ряді випадків розвідка спостереженням ведеться в сполученні з безпосереднім оглядом місцевості і місцевих предметів. Вночі й в інших умовах обмеженої видимості спостереження доповнюється підслуховуванням. Останнім часом широко застосовується спостереження за допомогою безпілотних авіаційних комплексів, що значно підвищує ефективність спостереження.

У підрозділах завдання спостереження виконують спостерігачі. Спостерігач призначається обов'язково, як при веденні розвідки (на місці чи в русі) так і при розташуванні підрозділу на місці. Для розвідки противника і спостереження за його діями і положенням своїх підрозділів і сусідів призначається спостерігач з числа найбільш підготовлених солдатів і сержантів. Він відповідає за своєчасне виявлення противника в своєму секторі (районі) та підпорядковується командиру підрозділу (старшому спостерігачу, черговому офіцеру на КСП).

Для візуального спостереження використовуються оптичні прилади (біноклі, стереотруби, далекоміри, перископи, інколи оптичні приціли), вночі і в умовах обмеженої видимості – прилади нічного бачення і освітлювальні засоби (прожектори, освітлювальні снаряди, спеціальні ракети тощо). Кожен із цих засобів має свої переваги і недоліки один перед одним. Загальними недоліками всіх оптичних приладів є великий розмір лінз, які в них використовуються. Це дозволяє противнику виявляти спостерігачів і наносити удари по місцях

ведення спостереження. Найкращими по захищеності від виявлення та ураження противником є засоби оптичного спостереження перископного типу. Вони забезпечують найбільш приховане спостереження за противником. У той же час їх наявності не вистачає для забезпечення військ.

Для ведення ефективного спостереження за противником в денну і нічну пору доби із закритих позицій (приміщень) пропонується спеціальний пристрій, схему якого подано на Рис.1.

Рисунок 1 – Схема пристрою для здійснення спостереження за противником

Електронні засоби візуального спостереження (далі – ЗВС), мінівідеокамера та/або тепловізійна камера, встановлюється на спеціальній платформі, яка дистанційно повертається у горизонтальній та вертикальній площині за допомогою рульових машинок, їх ще називають сервоприводами або сервомашинками, які використовуються у авіамоделюванні. Сервоприводи (сервомашинки) мають не високу вартість та дозволяють повертати платформу ЗВС з кроком оберту на 1° у горизонтальній та вертикальній площинах. Максимально поворот ЗВС можна здійснити на 180° у горизонтальній площині і на 90° – у вертикальній. Живлення рульових машинок може здійснюватися від персонального комп'ютера (далі – ПК) через USB конектор, окремої акумуляторної батареї з напругою 3,7 В (як правило це літійіонні акумуляторні батареї), або від окремих стартерних акумуляторних батарей напругою 12 або 24 В. У останньому випадку обов'язково використовують мікропонижуючий модуль DC-DC із входом 12/24V та виходом 5 V.

ЗВС споживає 10÷15 мА тільки в момент повороту платформи, що дозволяє забезпечувати роботу ЗВС тривалий час. У випадку живлення ЗВС від ПК його працездатність буде залежати від наявності електроживлення ПК (електромережі або власної акумуляторної батареї).

Вищезазначений саморобний ЗВС може бути використаний для спостереження за переднім краєм противника в денну і нічну пору доби, а при використанні разом із іншими засобами відображення: мініноутбук, планшет і таке інше, ще й у важко доступних місцях опорних пунктів противника та інженерних споруд. До них можна віднести ходи сполучення окопів, бліндажі, під брустверні укриття «лисячі нори», а також різноманітні приміщення окремих будівельних об'єктів, які важко проглядаються. Якщо цей засіб використовувати разом із потужними засобами освітлення, електричними ліхтарями або фарами, то використання таких ЗВС можна значно розширити. У залежності від того, на якій платформі розташовано ЗВС можливе його використання в якості перископа. Таке застосування ЗВС дасть можливість спостерігати за полем бою із захисних споруд, окопів та інших інженерних споруд.

Список використаних джерел:

1. О. В. Левченко, В. В. Вінник, О. В. Устименко Розвідка та іноземні армії Частина 2 Інформаційна робота Навчальний посібник Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, 2019, с.130.

2. Засоби спостереження та ведення розвідки Методичний посібник Видавництво «СВАРОГ» Київ, 2023, с.56.

3. Військова розвідка : навчальний посібник / упорядники : Д. В. Зайцев, А. П. Наконечний, С. О. Пахарєв, І. О. Луценко ; за ред. В. Б. Добровольського. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2016. – 335 с.
4. Методичний посібник засобів спостереження та ведення розвідки. 49 с.

Чабан Мирослава Антонівна *– слухач кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету e-mail: myrosikzay@gmail.com*

Колесникова Інна Миколаївна *– викладач кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету e-mail: i.kolesnykova@donnu.edu.ua*

Домненко Микола Григорович *– викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mikoladomnenko568@gmail.com.*

Chaban Myroslava Antonivna *– student of the Department of Military Training of Vinnytsia National Technical University e-mail: myrosikzay@gmail.com*

Kolesnykova Inna Mykolaivna *– Lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University e-mail: i.kolesnykova@donnu.edu.ua*

Domnenko Mikola Grigorovich *– speaker of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya, e-mail: mikoladomnenko568@gmail.com.*

УДК 355:359(477)

Чабан М. А., Колесникова І. Н., Домненко М. Г.

ЛАНЦЮГОВИЙ ЗАХИСТ ІНЖЕРЕНРНИХ СПОРУД ДЛЯ ЗАХИСТУ ОСОБОВОГО СКЛАДУ ВІД БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

Анотація: *у роботі розглянуто пропозиції щодо варіантів підвищення захисту особового складу відділень (екіпажів) під час їх розміщення у перекритих щілинах та бліндажах.*

Ключові слова: *противник, безпілотні авіаційні комплекси, особовий склад, захист, ураження.*

Abstract: *the work considers proposals for options for increasing the protection of the personnel of departments (crews) during their placement in covered gaps and dugouts.*

Key words: *enemy, unmanned aerial systems, personnel, defense, defeat.*

«Для захисту особового складу, збереження його боєздатності на позиціях та в районах розташування військ влаштовують інженерні захисні споруди (укриття), які за ступенем захисту (у міру зростання захисних властивостей) поділяють на відкриті та перекриті щілини, бліндажі та сховища». Форму та склад елементів конструкції вищезазначених інженерних споруд, за винятком відкритих перекритих щілин, подано нижче.

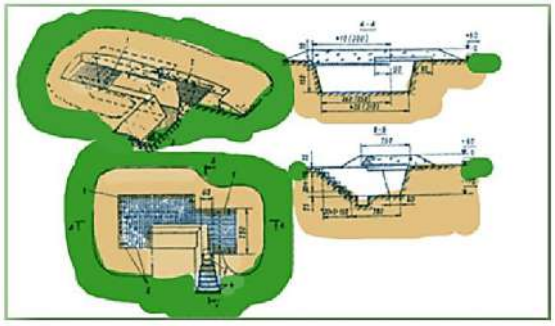


Рис. 3.32. Перекрита щілина на відділення (екіпаж, обслугу):
1 – перекриття; *2* – перекрита ділянка входу; *3* – водозбірний колодязь; *4* – жердини;
5 – скрутки з 3–4 мм дроту в чотири нитки

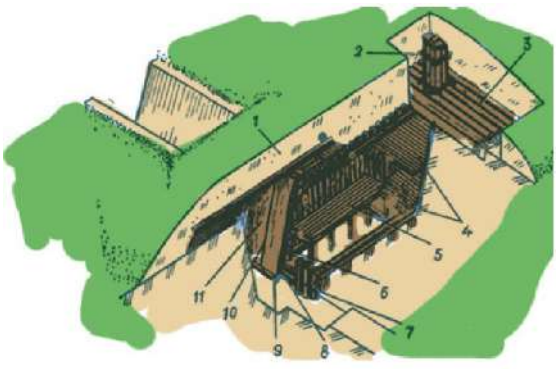


Рис. 3.33. Бліндаж безврубної конструкції з лісоматеріалу на відділення (екіпаж):
1 – перекрита ділянка траншеї; *2* – вентиляційний короб; *3* – накат; *4* – нари;
5 – місце для сидіння; *6* – піч з місцевих матеріалів; *7* – стояк входу; *8* – дверний щит;
9 – привантажувальний елемент завіси; *10* – тяги з 2-міліметрового відпаленого дроту;
11 – герметизувальна завіса

Багаторічний досвід ведення бойових дій показує, що вищезазначені інженерні споруди часто руйнуються безпілотними авіаційними комплексами (далі – БАК) різного призначення, у

тому числі й fpv-дронами. Особовий склад, який знаходиться у таких захисних спорудах (далі – ЗС) під час атак БАК отримає поранення або навіть гине.

Для його захисту від дії БАК під час перебування в ЗС пропонуємо запровадити засіб, який дозволять суттєво знизити або й повністю запобігти ураженню особового складу.

Його суть полягає у наступному: перед вхідними дверима до ЗС встановлюється саморобний пристрій підвішених до міцної металевої основи (виготовлена з кутового заліза) металевих ланцюгів, які у верхній частині жорстко закріплені, а до їх нижнього части – підвішені вагові гирі (Рис.1.). Необхідність встановлення вагових гирь підбирається експериментально. Їх завдання – придати ланцюгові певну жорсткість щоб пориви вітру не впливали суттєво на жорсткість конструкції і ланцюги були у «натягнутому стані». Відстань між сусідніми ланцюгами з гирями становить 20-25 см. Це робиться для того, щоб БАК різних класів противника не могли пролетіти між двома сусідніми ланцюгами, а також між лівим та правим краєм конструкції. Подібну ланцюгову систему розташовують на відстані 0,5-0,8 м від вхідних дверей до ЗС. Для входу до ЗС (виходу із неї) особовий склад просто розсуває середину конструкції, а після проходу воїна під дією ваги гирь конструкція набуває вихідного стану. Оскільки дана конструкція не є дуже жорсткою, то будь-який боєприпас не зможе її зруйнувати, адже розірвати вибухом хоча б одну ланку ланцюга, який висить, дуже складно. Отже, така система не дозволить БАК долетіти до вхідних дверей ЗС і зруйнувати їх вибухом.

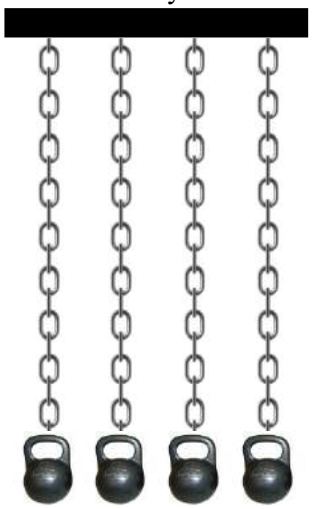


Рис.1.

Іншим напрямком атаки БАК може бути одна із гирь цієї конструкції. Але у цьому разі вибух не дозволить її «розірвати», бо вона підвішена не жорстко і вибух може тільки відштовхнути її від нейтрального положення.

Верхня металева основа кріпиться так, щоб у жодному разі БАК противника технічно не міг підлетіти до місця її встановлення. Для цього до неї приварюють шматки арматури розміром по 0,4-0,5 м, які розташовують під різними кутами до входу.

На наш погляд така конструкція зможе захистити вхідні двері до ЗС і значно зменшити ймовірність ураження особового складу.

Список використаних джерел:

1. Основи інженерної підготовки [Текст] : навч. посіб. / І. С. Остапенко, В. М. Філь, І. Є. Крамар, О. І. Шаптала; УДУНТ; ННІ «Дніпров. ін-т інфраструктури і трансп.». – Дніпро, 2022. – 387 с.

2. Фортифікаційне обладнання місць виконання завдань підрозділами (за досвідом російсько-Української війни 2022 року). Методичні рекомендації.— Київ: Видавничий дім «СВАРОГ», 2023. — 46 с.

Чабан Мирослава Антонівна – *слухач кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету e-mail: myrosikzay@gmail.com*

Колесникова Інна Миколаївна – *викладач кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету e-mail: i.kolesnykova@donnu.edu.ua*

Домненко Микола Григорович – *викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mikoladomnenko568@gmail.com.*

Chaban Myroslava Antonivna – *student of the Department of Military Training of Vinnytsia National Technical University e-mail: myrosikzay@gmail.com*

Kolesnykova Inna Mykolaivna – *Lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University e-mail: i.kolesnykova@donnu.edu.ua*

Domnenko Mikola Grigorovich *– speaker of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya, e-mail: mikoladomnenko568@gmail.com.*

УДК 623.746.519

Оболонська Я. О., Віщун І. В.

РОЛЬ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ В УМОВАХ СУЧАСНОГО ВІЙСЬКОВОГО КОНФЛІКТУ

Анотація. *Досліджено роль радіоелектронної боротьби у сучасних військових конфліктах, зокрема її вплив на порушення роботи ворожих систем та захист власної інфраструктури.*

Ключові слова: *Радіоелектронна боротьба, сучасний військовий конфлікт, дрони, засоби РЕБ, GPS, українські системи, мобільні технології, радіоелектронна розвідка, захист інфраструктури.*

Abstract. *The role of radio-electronic warfare in modern military conflicts is studied, in particular, its impact on the disruption of enemy systems and the protection of one's own infrastructure.*

Keywords: *Radio-electronic warfare, modern military conflict, drones, EW devices, GPS, Ukrainian systems, mobile technologies, radio-electronic intelligence, infrastructure protection.*

Вступ

РЕБ є невід'ємною частиною сучасного воєнного мистецтва, спрямованого на забезпечення домінування в інформаційному середовищі. Контекст сучасних військових конфліктів характеризується широким використанням безпілотників, супутникової навігації та зв'язку, що вимагає ефективних рішень для протидії системам противника. Український досвід демонструє важливість інновацій у сфері радіоелектронної боротьби, адаптації до нових загроз та впровадження новітніх технологій для захисту військової та критичної інфраструктури.

Результати дослідження

Радіоелектронна боротьба (РЕБ) - це ключовий елемент сучасної війни, спрямований на захист власних військових систем і порушення роботи ворожої техніки. Основними завданнями радіоелектронної боротьби є блокування радіозв'язку, порушення супутникової навігації, глушіння сигналів безпілотників і захист домашніх систем від ворожих перешкод.

Засоби радіоелектронної боротьби можуть бути наземними, морськими або повітряними і мають діапазон дії від тактичного до 50 км до стратегічного понад 500 км. Радіоелектронна боротьба активно використовується для боротьби з ракетами. Вона може виводити з ладу системи навігації, замінювати координати на фальшиві або створювати радіоперешкоди, які унеможливлюють точні атаки.

Українська система «Покрова» спеціалізується на підміні даних для виведення з ладу ворожих безпілотників і ракет шляхом заміни їхніх навігаційних даних. Інші системи української розробки, такі як «Букобель-АД», «Анклав» та «Піранья-АВД360», ефективно блокують канали управління безпілотниками, захищають бронетехніку та особовий склад, а також виводять з ладу навігаційні системи противника [1].

З початку війни українські підрозділи радіоелектронної боротьби активно боролися з російськими системами радіоелектронної боротьби. Раніше росіяни покладалися на великі, громіздкі системи, такі як «Красуха-4» та «Леєр-3», які були повільними та вразливими. На відміну від них, українські підрозділи радіоелектронної боротьби використовують мобільні технології для виявлення і нейтралізації російських сигналів, такі як радар, GPS, супутниковий і мобільний зв'язок. Розвідувальні літаки, такі як «Алан Дорон», перехоплюють ворожі сигнали і визначають переміщення ворожих командних пунктів і підрозділів. Завдяки цим діям Україна не лише ефективно протидіяла ворожим атакам, але й знищила понад 100 російських систем радіоелектронної боротьби. У відповідь Росія збільшила використання мобільних систем радіоелектронної боротьби для блокування GPS та інших ключових систем для нанесення високоточних ударів [2].

Засоби радіоелектронної боротьби використовуються на різних бойових позиціях, зокрема в окопах, бункерах, командних пунктах, бронетехніці та артилерії. Середній термін служби засобів

радіоелектронної боротьби на передовій становить близько двох тижнів, тому їх ретельно маскують і захищають. Стаціонарні засоби РЕБ часто маскуються під мобільні базові станції, а портативні - камуфлюються або ховаються під укриттям. Ефективність РЕБ залежить від дальності дії радіосигналу, яка зменшується через перешкоди, такі як дерева і будівлі. Рельєф місцевості також має важливе значення: більш високе розташування пристрою підвищує його ефективність, тоді як низьке розміщення робить його вразливим. Ефективність систем РЕБ також залежить від відстані між дроном і оператором. Чим ближче оператор і дрон, тим складніше заглушити сигнал. Системи РЕБ можуть створювати перешкоди як дружнім, так і ворожим дронам, тому важлива координація з радіоелектронною розвідкою. Нові частоти, які використовують дрони, і їхня здатність змінювати частоти в польоті створюють виклики для радіоелектронної боротьби, але ці проблеми поступово вирішуються. Системи радіоелектронної боротьби безсилі проти деяких типів БПЛА, таких як боєприпаси з електронним наведенням і безпілотники в режимі радіомовчання. Ефективна РЕБ вимагає координації з радіоелектронною розвідкою РЕР для моніторингу сигналів противника і визначення найкращої стратегії [3].

Українські системи радіоелектронної боротьби стають невід'ємною частиною протидії російським дронам, зокрема FPV-дронам і "мавікам". Українські компанії, як-от Kvertus, "Обрій Мілтек" та інші, пропонують різноманітні рішення від мобільних рюкзаків до стаціонарних купольних систем, які здатні працювати на сучасних частотах 720–1050 МГц.

Завдяки активній участі держави і приватного сектору обсяги виробництва засобів РЕБ зросли від десятків комплексів на місяць у 2022 році до тисяч у 2024-му. Водночас фронт ще не повністю забезпечений цією технологією через високу потребу і технологічну складність. Щоб випереджати противника, Україна постійно вдосконалює розробки, адаптуючи їх до нових загроз, зокрема дронів із машинним зором або тих, що працюють на нестандартних частотах.

Українські виробники також намагаються зменшити залежність від китайських компонентів, працюючи над локалізацією виробництва мікросхем і модулів спільно з європейськими партнерами. Деякі моделі РЕБ вже показали високу ефективність, наприклад, комплекс "Буковель", який здатний збивати сигнал GPS і "приземляти" ворожі дрони, такі системи також закуповуються благодійними фондами, міськими громадами та приватними компаніями для захисту інфраструктури [4].

Висновки

Радіоелектронна боротьба відіграє ключову роль у сучасних військових конфліктах, забезпечуючи захист власних систем та порушуючи роботу ворожих засобів. Українські розробки у сфері РЕБ демонструють високу ефективність, адаптацію до нових загроз і значний потенціал для подальшого розвитку. Координація з радіоелектронною розвідкою, локалізація виробництва компонентів і впровадження інновацій залишаються важливими умовами для досягнення технологічної переваги у протистоянні сучасним викликам.

Список використаних джерел:

1. РЕБ. Що це і як засоби радіоелектронної боротьби протидіють ворожим ракетам. https://mind.ua/publications/20269499-reb-shcho-ce-i-yak-zasobi-radioelektronnoyi-borotbi-protidiyut-vorozhim-raketam.
2. РЕБ-війна. Як розвідка ЗСУ глушить росіян і нищить їхні системи радіоелектронної боротьби - BBC News Україна. BBC News Україна. https://www.bbc.com/ukrainian/features-66403182.
3. Що таке засоби радіоелектронної боротьби (РЕБи)? - KOLO Новини Оперативна допомога військовим ЗСУ Благодійний фонд KOLO Фонд tech спільноти України. https://koloua.com/news/shcho-take-zasobi-radioelektronnoyi-borotbi-rebi-34.
4. Економічна правда. Український РЕБ проти російських дронів. Як вітчизняні компанії нарощують виробництво дефіцитної зброї?. Економічна правда. https://epravda.com.ua/publications/2024/04/22/712696/.

Оболонська Яна Олександрівна *– студентка групи 1БС-22б, факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, громадянка кафедри Військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:*

vn.oyana@gmail.com

Віщун Ігор В'ячеславович *– викладач кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: viv@vntu.edu.ua*

Obolonska Yana Oleksandrivna *– student of group 1BS-22b, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, citizen of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vn.oyana@gmail.com*

Vishchun Igor Viacheslavovych *– Lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: viv@vntu.edu.ua*

УДК 623.746.7:004.8

Оболонська Я. О., Віщун І. В.

БПЛА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Анотація. *Досліджено вплив штучного інтелекту на розвиток безпілотників, виклики їхньої протидії та сучасні інноваційні рішення.*

Ключові слова: *штучний інтелект, безпілотники, дрони, протидія дронам, система Sentrycs, безпека, автономні системи, український досвід, інноваційні технології, міжнародна співпраця.*

Abstract. *The influence of artificial intelligence on the development of drones, the challenges of their countermeasures and modern innovative solutions have been studied.*

Keywords: *artificial intelligence, drones, drones, countering drones, Sentrycs system, security, autonomous systems, Ukrainian experience, innovative technologies, international cooperation.*

Вступ

Штучний інтелект значно розширив функціональні можливості безпілотних літальних апаратів, перетворивши їх на автономні системи, здатні до самостійного прийняття рішень, адаптації до змінних умов і високоточної роботи в складних середовищах. Ці технологічні досягнення зробили дрони незамінними як у цивільній, так і у військовій сферах, проте водночас породили нові виклики, зокрема у сфері безпеки, управління та протидії.

Результати дослідження

Поява безпілотників, керованих штучним інтелектом, стала важливим етапом у розвитку сучасних технологій, перетворюючи їх із простих інструментів на автономних агентів із широкими можливостями. Завдяки ШІ дрони отримали здатність до самостійної навігації, аналізу навколишнього середовища та адаптації до змінних умов, що значно підвищило їх ефективність і функціональність. Однак ці досягнення також створили нові виклики, зокрема у сфері безпеки та регулювання, оскільки традиційні методи протидії дронам часто виявляються недостатніми для нейтралізації загроз, які вони можуть становити [1].

Штучний інтелект у дронах надає їхнім операторам значні переваги, суттєво змінюючи підхід до управління та використання цих технологій. По-перше, завдяки алгоритмам машинного навчання дронами можуть керувати навіть люди без значного досвіду пілотування, оскільки ШІ бере на себе більшість складних задач, включно з наведенням на ціль. По-друге, такі дрони є стійкими до локальних систем радіоелектронної боротьби (РЕБ) вони можуть ідентифікувати та уражати цілі ще до входу в зону дії РЕБ, що робить останні менш ефективними. По-третє, машинний зір дозволяє автоматично супроводжувати рухомі цілі протягом тривалого часу, що суттєво підвищує точність ураження навіть за несприятливих умов, наприклад сильного вітру [2].

Інноваційна технологія аналізу протоколів Sentrycs пропонує революційний підхід до протидії безпілотникам, в тому числі з використанням штучного інтелекту. Система динамічно адаптується до новітніх дронів завдяки постійно оновлюваній бібліотеці , що дозволяє швидко виявляти і нейтралізувати навіть найскладніші пристрої. Високоточна, стійка до хибних спрацьовувань і автономна, вона є ідеальним рішенням для захисту як відкритих, так і густонаселених міських територій. Sentrycs не лише ефективно нейтралізує загрози, мінімізуючи супутні збитки, але й збирає життєво важливу інформацію про дрон і його оператора Вона також збирає життєво важливу інформацію про безпілотник і його оператора. Масштабованість системи дозволяє легко адаптувати її до будь-якого сценарію, включаючи боротьбу з роями безпілотників [3].

Взаємодія між інтелектуальними дронами та системами протидії стане ключовим напрямком розвитку, що потребуватиме тісної співпраці між технічними експертами та регуляторними органами. Українські військові вже активно тестують дрони-камікадзе зі штучним інтелектом,

отримуючи безцінний досвід у їх застосуванні. Одним із головних викликів є навчання операторів розрізняти реальні об'єкти від згенерованих ШІ.

Успіх цих технологій, зокрема дронів Swarm, може докорінно змінити динаміку на полі бою, забезпечуючи ефективну та скоординовану атаку за участі одного оператора. Такі дрони, оснащені можливістю самостійного прийняття рішень, значно зменшують потребу в людському втручанні й підвищують точність виконання завдань навіть у складних бойових умовах. Їх застосування здатне не лише знизити втрати серед особового складу, але й забезпечити максимальну ефективність завдяки роботизованій координації між одиницями. Розвиток дронів із підтримкою ШІ викликає необхідність модернізації засобів протидії цим системам. Існуючі підходи поступово втрачають актуальність, адже дрони нового покоління мають здатність обминати захисні периметри та працювати у складних умовах електронної протидії. Для забезпечення безпеки необхідно впроваджувати нові алгоритми та засоби, здатні адаптуватися до викликів майбутнього.

У глобальному масштабі такі ініціативи, як «коаліція дронів», до якої долучилися Велика Британія, Латвія, Швеція та Нідерланди, підкреслюють важливість міжнародної співпраці у створенні ефективних рішень для боротьби з сучасними загрозами [4].

Висновки

Кіберзахист є ключовим для надійної роботи БПЛА, особливо з використанням ШІ. Штучний інтелект відкриває нові можливості автономної навігації та адаптації, але створює ризики кібератак. Сучасні рішення, як-от Sentrycs, демонструють ефективність у нейтралізації загроз, адаптуючись до новітніх дронів. Взаємодія між інтелектуальними БПЛА та системами протидії потребує співпраці фахівців і регуляторів. ШІ – це майбутнє, яке забезпечить безпеку навіть від складних атак, зміцнить обороноздатність і зменшить людські втрати. Міжнародна співпраця та інновації є важливими для подолання викликів майбутнього.

Список використаних джерел:

1. Революція штучного інтелекту та безпілотники: Майбутнє та контр-рішення. Рішення для протидії безпілотникам Sentrycs. URL: https://sentrycs.com/uk/the-counter-drone-blog/the-evolution-of-ai-in-drones-implications-and-adaptations-for-counter-drone-technology/.
2. Горбік Вікторія. «Відносно використання дронів зі штучним інтелектом, людина все одно буде в петлі управління». Які переваги мають ШІ-дрони. dev.ua. URL: https://dev.ua/news/droniv-zi-shtuchnym-intelektom.
3. Sentrycs Інтегроване рішення C-UAS. cuashub. URL: https://cuashub.com/uk/продукт/інтегроване-рішення-sentrycs-з-uas/.
4. Мельник Р. Українські військові вже почали тестувати дрони зі штучним інтелектом. *ms.detector.media*. URL: https://ms.detector.media/trendi/post/34264/2024-02-21-ukrainski-viyskovi-vzhe-pochaly-testuvaty-drony-zi-shtuchnym-intelektom/.

Оболонська Яна Олександрівна *– студентка групи 1БС-22б, факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, громадянка кафедри Військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vn.oyana@gmail.com*

Віщун Ігор В'ячеславович *– викладач кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: viv@vntu.edu.ua*

Obolonska Yana Oleksandrivna *– student of group 1BS-22b, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, citizen of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vn.oyana@gmail.com*

Vishchun Igor Viacheslavovych *– Lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: viv@vntu.edu.ua*

УДК 623.4

Кобенда Д. С., Бондаренко П. Я., Якобінчук О.В.

БПЛА З ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИМИ ЛІНІЯМИ ЗВ'ЯЗКУ ЯК ІНСТРУМЕНТ РОЗВІДКИ ТА УРАЖЕННЯ В СУЧАСНОМУ ЗБРОЙНОМУ КОНФЛІКТІ

Анотація: *досліджено особливості застосування безпілотних літальних апаратів з використанням волоконно-оптичних ліній зв'язку російською стороною в умовах збройного протистояння, проаналізовано комплексні методи протидії та запропоновано стратегії нейтралізації технологічних переваг противника.*

Ключові слова: *безпілотні літальні апарати, волоконно-оптичні лінії зв'язку, розвідка, електронна війна, кібербезпека*

Annotation: *the study explores the specifics of using unmanned aerial vehicles with fiber-optic communication lines by the Russian side in the context of armed conflict, analyzes comprehensive countermeasure methods, and proposes strategies for neutralizing the technological advantages of the enemy*

Keywords: *unmanned aerial vehicles, fiber-optic communication lines, reconnaissance, electronic warfare, cybersecurity*

Вступ

Сучасна російсько-українська війна характеризується активним впровадженням інноваційних технологій у воєнне мистецтво. Особливе місце серед них посідають безпілотні літальні апарати, обладнані передовими системами зв'язку, зокрема волоконно-оптичними лініями передачі даних. Ці технологічні рішення докорінно змінюють характер розвідувальних та бойових операцій, створюючи принципово нові виклики для систем протиповітряної оборони.

Результати дослідження

Російські БПЛА з волоконно-оптичними лініями зв'язку демонструють унікальні характеристики, які значно підвищують ефективність розвідувальних та бойових операцій. Технологія забезпечує надвисоку швидкість передачі інформації, практичну непомітність для систем радіоелектронної боротьби та надзвичайно стійкий канал управління. Такі апарати здатні передавати деталізовану відеоінформацію в режимі реального часу, маючи радіус дії до п'ятдесяти кілометрів та час неперервного польоту понад чотири години.

Протидія російським БПЛА з ВОЛС потребує комплексного, багаторівневого підходу. Передусім необхідно розвивати системи активного радіоелектронного придушення, здатні створювати потужні перешкоди для каналів управління та передачі даних. Важливим напрямком є вдосконалення оптико-електронної розвідки, що дозволить виявляти БПЛА наранніх стадіях польоту.

Ключовим елементом протидії є розробка спеціалізованих демаскуючих комплексів, здатних виявляти мікровипромінювання бортових систем БПЛА. Такі системи мають використовувати найсучасніші алгоритми машинного навчання для розпізнавання унікальних сигнатур безпілотників. Додатково необхідно впроваджувати інтелектуальні системи прогнозування траєкторій руху БПЛА з використанням штучного інтелекту.

Важливим напрямком є також розвиток засобів електронної боротьби, здатних генерувати складні перешкоджаючі сигнали, які унеможливлюють стабільну роботу волоконно-оптичних ліній зв'язку. Перспективними є технології акустичного та оптичного придушення, що дозволяють безконтактно виводити з ладу складні електронні системи БПЛА.

Висновки

Застосування БПЛА з волоконно-оптичними лініями зв'язку становить серйозну загрозу обороноздатності держави. Ефективна протидія вимагає негайної розробки комплексних

технічних рішень, інтеграції передових наукових розробок та постійного вдосконалення систем протиповітряної оборони.

Список використаних джерел:

1. Дрони на оптоволокні — Історія, Технології та Методи Протидії. https://www.tayfun.in.ua/drony-na-optovolokni/
2. Революція, яку Україна проґавила: чому оптоволоконні дрони змінюють все на полі бою https://www.bbc.com/ukrainian/articles/cg4lz9zz3zeo

Кобенда Денис Сергійович *– слухач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: kobendadenis@gmail.com*

Бондаренко Павло Якович *– викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, ORCID 0009-0004-4223-4451, e-mail: pavlobondarenko1970@gmail.com*

Якобінчук Олександр Вікторович *– кандидат військових наук, доцент, заступник начальника кафедри радіотехнічних та спеціальних військ, Інститут авіації та протиповітряної оборони Національного університету оборони України імені Івана Черняховського, ORCID 0000-0002-8186-6978, e-mail: o.yakobinchuk@gmail.com*

Kobenda Denys *– student of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, e-mail: kobendadenis@gmail.com*

Pavlo Bondarenko *– Lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, ORCID 0009-0004-4223-4451, e-mail: pavlobondarenko1970@gmail.com*

Oleksandr Yakobinchuk *– PhD in Military Sciences, Assistant Professor, Deputy head of the department of radio-technical and special troops, The Aviation and Air Defense Institute The National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, ORCID 0000-0002-8186-6978, e-mail: o.yakobinchuk@gmail.com*

УДК 623.4

Кобенда Д. С., Бондаренко П. Я.

ЕВОЛЮЦІЯ ТАКТИКИ ЗАСТОСУВАННЯ КОМЕРЦІЙНИХ ТА ВІЙСЬКОВИХ БПЛА В РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКІЙ ВІЙНІ: ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ТА СТРАТЕГІЧНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Анотація: *досліджено еволюцію тактики використання безпілотних літальних апаратів у контексті російсько-української війни, проаналізовано ключові технологічні виклики та стратегічні зміни у веденні бойових дій. Окремо розглянуто роль комерційних дронів, їхню адаптацію до військових завдань та перспективи протидії.*

Ключові слова: *безпілотні літальні апарати, тактика, електронна боротьба, військові технології, стратегічні трансформації.*

Annotation: *the study examines the evolution of tactics in the use of unmanned aerial vehicles in the context of the Russian-Ukrainian war, analyzing key technological challenges and strategic changes in warfare. The role of commercial drones, their adaptation to military tasks, and countermeasure perspectives are also considered.*

Keywords: *unmanned aerial vehicles, tactics, electronic warfare, military technologies, strategic transformations.*

Вступ

Російсько-українська війна стала полігоном для активного розвитку та застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які виконують широкий спектр завдань: від розвідки та коригування артилерійського вогню до завдання високоточних ударів. Особливе значення мають комерційні дрони, які швидко адаптуються до бойових умов та змінюють класичні підходи до ведення війни. Водночас нові технологічні рішення у сфері електронної боротьби та протидії безпілотникам потребують оперативної інтеграції у військові стратегії.

Результати дослідження

Еволюція тактики використання БПЛА спочатку обмежувалася розвідкою та коригуванням, однак згодом їх застосування розширилося на удари по позиціях противника, перевезення боєприпасів та створення рою дронів для масованих атак. Використання комерційних БПЛА у військових цілях дозволяє зменшити витрати та збільшити кількість засобів повітряного спостереження, при цьому деякі моделі модифікуються для скидання вибухових пристроїв.

Противник активно застосовує засоби радіоелектронної боротьби, глушники GPS та протидронові системи, що змушує операторів використовувати альтернативні канали зв’язку, автономні системи навігації та покращувати алгоритми ухилення. Збільшення ролі штучного інтелекту дозволяє розширити автономність дронів, надаючи їм можливість самостійно ухилятися від перешкод та ефективно виконувати бойові завдання.

Масове використання БПЛА призвело до стратегічних змін у бойових операціях, оскільки вони дозволяють проводити точкові удари без необхідності ризикувати життями військових. Асиметричні методи війни, засновані на застосуванні рою дронів, ускладнюють роботу систем протиповітряної оборони, змушуючи сторони конфлікту розробляти нові контрзаходи. Системи ППО зараз розширюють свої можливості, інтегруючи нові методи боротьби з дронами, такі як лазерна зброя, радіочастотне придушення та спеціалізовані протидронові комплекси.

Висновки

Еволюція тактики застосування БПЛА у війні між Україною та Росією демонструє значний вплив безпілотних технологій на сучасний військовий конфлікт. Важливим напрямком подальших досліджень є розробка ефективних засобів протидії, розвиток автономних бойових платформ, інтеграція штучного інтелекту у військові операції, а також вдосконалення систем ППО з урахуванням нових загроз, спричинених масовим використанням дронів. Військова

стратегія майбутнього буде значною мірою залежати від ефективності впровадження новітніх технологій у сфері БПЛА та контрзаходів проти них.

Список використаних джерел:

1. Як дрони змінюють сучасну війну? https://mil.in.ua/uk/articles/yak-drony-zminyuyut-suchasnu-vijnu/
2. Еволюція - не революція. https://drukarnia.com.ua/articles/evolyuciya-ne-revolyuciya-9U_89

Кобенда Денис Сергійович *– слухач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет,e-mail: kobendadenis@gmail.com*

Бондаренко Павло Якович *– викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: pavlobondarenko1970@gmail.com*

Kobenda Deny *– student of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, e-mail: kobendadenis@gmail.com*

Pavlo Bondarenko *– Lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, e-mail: pavlobondarenko1970@gmail.com*

УДК 629.735.083.7

Карлов К. С., Георгієв Ю. В., Красноруцький А. О.

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ АВІАЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОСИСТЕМ

Анотація. *У статті розглянуто проблему методів діагностики асинхронних двигунів авіаційних електросистем, які характеризуються значними похибками, тривалим часом діагностування. Розроблена система діагностики, на відміну від відомих систем контролю стану асинхронних двигунів, дозволяє одночасно контролювати як електричні, так і механічні несправності при роботі двигуна під навантаженням при неякісній системі електроживлення. Розроблена функціональна схема діагностичної системи може бути використана для практичної реалізації у фізичній формі. Використання запропонованої системи бортової діагностики дозволить забезпечити безперервну інформацію про стан основних елементів асинхронних двигунів відповідно до сучасних вимог і реальних умов експлуатації.*

Ключові слова: *асинхронний двигун, діагностування, спектральний аналіз, годограф Парка.*

Annotation. *The article discusses the problem of diagnostic methods for asynchronous motors in aviation electrical systems, which are characterized by significant errors and long diagnostic times. The developed diagnostic system, unlike known systems for monitoring the condition of asynchronous motors, allows simultaneous monitoring of both electrical and mechanical faults during motor operation under load with a poor-quality power supply system. The developed functional diagram of the diagnostic system can be used for practical implementation in physical form. The use of the proposed on-board diagnostic system will provide continuous information about the condition of the main elements of asynchronous motors in accordance with modern requirements and real operating conditions.*

Keywords: *inertial navigation, SINS, accelerometer, gyro, combat maneuvers.*

У теперішній час асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором застосовуються у такому відповідальному обладнанні, як паливні системи, електросистеми, гідравлічні системи. Працездатність цього обладнання безпосередньо впливає на безпеку польотів, саме через це необхідно проводити контроль двигунів для запобігання відмов в польоті.

Проведений аналіз сучасних методів діагностування електричних машин показує, що найбільш прийнятним методом є контроль електричних параметрів з подальшим виконанням спеціального аналізу отриманого сигналу. Для аналізу струмів асинхронного двигуна був обраний метод вектора Парка, який дозволяє діагностувати такі несправності як: міжвиткові замикання статора, ексцентриситет повітряного зазору, дефекти стрижнів і кілець короткозамкненого ротора та інші несправності

Ефективність методу вектору Парка підтверджена математичним моделюванням. Для застосування цього методу необхідно мати еталонні параметри (напруги, струми, характеристики перехідних процесів, спектри напруг та струмів) машини. Ці параметри можна отримати експериментально, або шляхом моделювання.

Параметри машини при виникненні типових відмов не завжди вдається отримати експериментально. Тому є необхідність у створенні моделей електричних машин, які дозволяють отримати як еталонні параметри, так і параметри при виникненні відмов.

Щоб запобігти накладенню частот, викликаних різними пошкодженнями, і уникнути спотворення реальної картини стану двигуна, застосовують метод аналізу спектрів векторів Парка струму і напруги. Цей метод відрізняється від простого спектрального аналізу сигналів струму тим, що при формуванні спектрів модуля вектора Парка будь–яка характерна частота амплітудно–модульованого сигналу враховується лише один раз.

У спектрі струму гармоніки, що відповідають різним типам несправностей, мають свої відмінні ознаки. Це означає, що виявлення у спектрі струму певних гармонік чітко вказує на наявність конкретної електричної чи механічної несправності в електродвигуні або у пристрої, який він приводить у дію.

Оцінку стану та типу несправності обмотки статора, а також інших несправностей асинхронного двигуна, можна виконати з високою точністю за допомогою аналізу спотворень годографа вектора Парка струму.

Метод аналізу векторів Парка дозволяє розрізняти та ідентифікувати специфічні частотні компоненти, що відповідають певним типам несправностей, роблячи його ефективним інструментом для діагностики стану електродвигунів.

Беручи до уваги сучасний стан діагностичного обладнання для асинхронних двигунів і розглянутих вище алгоритмів діагностування розроблено структурну схему апаратури для комплексного моніторингу стану асинхронних двигунів.

Система діагностики асинхронного двигуна включає в себе наступні модулі контролю дефектів електродвигуна: наявність міжвиткового короткого замикання в фазі обмотки статора; пошкодження стану «білячої клітки» обмотки ротора; пробій ізоляції обмоток; виникнення дисбалансу мас обертового механізму; пошкодження підшипників і контроль появи «інших дефектів».

Парка метод дозволяє отримати достовірні результати діагностики при роботі двигуна під навантаженням і при неякісній системі напруги живлення. Для контролю стану підшипників та інших дефектів, що викликають вібрацію, використовується метод вібраційного аналізу з попереднім розкладанням сигналу за допомогою швидкого перетворення Фур'є. Це дає можливість диференціювати тип і ступінь пошкодження механічних елементів за частотами, що збігаються з частотами можливих пошкоджень, і виявляти дефекти.

Для роботи кожного модуля передбачені алгоритми, які синтезуються в загальній функціональній схемі діагностичної системи. Запропонована структура діагностичної системи охоплює основні види пошкоджень електродвигуна, включаючи профілактичний контроль стану ізоляції та загального вібраційного стану електродвигуна. Для контролю виникнення міжвиткових коротких замикань у фазі обмотки статора та пошкодження обмотки ротора використовується сучасний метод векторного підходу Парка.

Розроблена система діагностики, на відміну від відомих систем контролю стану асинхронних двигунів, дозволяє одночасно контролювати як електричні, так і механічні несправності при роботі двигуна під навантаженням при неякісній системі електроживлення. Розроблена функціональна схема діагностичної системи може бути використана для практичної реалізації у фізичній формі. Використання запропонованої системи бортової діагностики дозволить забезпечити безперервну інформацію про стан основних елементів асинхронних двигунів відповідно до сучасних вимог і реальних умов експлуатації.

Для роботи кожного модуля передбачені алгоритми, які синтезуються в загальній функціональній схемі діагностичної системи. Запропонована схема діагностичної вбудованої системи ідеалізована, але архітектура системи дозволяє використовувати скорочений набір обраних модулів. Забезпечення постійного контролю стану асинхронних електродвигунів в реальних умовах експлуатації з виявленням ранніх стадій відмов є складним і найважливішим завданням, вирішення якого є більш ефективною і економічною альтернативою плановому технічному обслуговуванню і створює більшу безпеку при своєчасному виконанні діагностування.

У якості датчиків пропонується використовувати:

- трансформатори струму;
- датчиків вібрації– модулі для Arduino на LM393 (SW–18010P);
- датчиків магнітного поля– датчики Холла. Аналогово;
- цифровий перетворювач.

Цифровий перетворювач бажано обрати виробництва National Instruments, тому що вони мають дуже високу надійність і точність перетворення і призначені для роботи з математичним забезпеченням *LabVIEW* National Instruments.

Аналіз даних може бути виконаний на ПК з відповідним математичним забезпеченням.

Найбільш розвинені засоби для обробки інформації пропонує *LabVIEW* National Instruments.

Запропонована структурна схема комплексного моніторингу стану асинхронних двигунів та розглянута можливість її апаратурної реалізації з оцінкою вартості. Вартість запропонованого комплексу становить значно меншу ціну ніж за закордоні аналоги.

Застосування пропонуємої апаратури дозволить підвищити ефективність контролю асинхронних двигунів, виявляти несправності на ранніх стадіях виникнення, прогнозувати стан двигунів тим самим зменшити імовірність відмов у польоті.

Список використаних джерел:

1. А.І. Купін Інформаційна технологія для групової діагностики асинхронних електродвигунів на основі спектральних характеристик та інтелектуальної класифікації / А. І. Купін, Д. І. Кузнєцов, 2010 –64с.
2. Oleg Gubarevych Use of Park's Vector Method for Monitoring the Rotor Condition of an Induction Motor as a Part of the Built–In Diagnostic System of Electric Drives of Transport/ Oleg Gubarevych, Juraj Gerlici, Oleksandr Kravchenko, Inna Melkonova and Olha Melnyk, 2009 –40c.
3. Oleg Gubarevych Synthesis of the structural diagram with algorithms of the units of the on–board diagnostic system of induction motors of vehicles/ Oleg Gubarevych, Melkonova, Hryhorii Melkonov, Olha Melnyk, Mariia Miroshnykova, 2011 –46c.
4. T. ORLOWSKA Simple diagnostic technique of a single IGBT open–circuit faults for an SVM–VSI vector controlled induction motor drive/ T. ORLOWSKA–KOWALSKA, P. SOBANSKI, 2012 –14c.
5. Mohammed Obaid Mustafa On Fault Detection, Diagnosis and Monitoring for Induction Motors/ Mohammed Obaid Mustafa, 2019.–275c.

Карлов Кирило Сергійович *– слухач інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: kirillkarlov989@gmail.com*

Георгієв Юрій Вікторович *– старший викладач кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 21029, email: yura.georgsev.74@ukr.net, ORCID* https://orcid.org/0009-0004-7189-3966

Краснорyцький Андрій Олександрович *– кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Динамівська 3а, інд. 61023, email: krasnorycki@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000-0002-4318-2217*

Karlov Kyrylo Sergeyevich *– student from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: kirillkarlov989@gmail.com*

Andriy Oleksandrovych Krasnorutsky *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Aircraft and Helicopter Aviation Equipment, Faculty of Engineering and Aviation, Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv, 3a Dynamivska St., ind. 61023, email: krasnorycki@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000-0002-4318-2217*

Krasnorutskyi Andriy Oleksandrovych *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Aviation Equipment of Airplanes and Helicopters, Faculty of Aviation Engineering, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 3a Dynamivska St., ind. 61023, email: krasnorycki@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000-0002-4318-2217*

УДК 623.4

Кобенда Д. С., Бондаренко П. Я.

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УПРАВЛІННІ БЕЗПІЛОТНИМИ СИСТЕМАМИ РОЗВІДКИ ТА УРАЖЕННЯ В УМОВАХ СУЧАСНОГО ЗБРОЙНОГО КОНФЛІКТУ

Анотація: *сучасний збройний конфлікт демонструє революційне впровадження штучного інтелекту в управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА), що докорінно змінює характер розвідувальних та бойових операцій. Штучний інтелект перетворює безпілотні системи на високоінтелектуальні автономні комплекси розвідки та ураження з унікальними технологічними можливостями.*

Ключові слова: *штучний інтелект, безпілотні літальні апарати, розвідка, бойові системи, автономні технології, збройний конфлікт*

Annotation: *the modern armed conflict demonstrates a revolutionary implementation of artificial intelligence in unmanned aerial vehicle (UAV) management, fundamentally changing the nature of reconnaissance and combat operations. Artificial intelligence transforms unmanned systems into highly intelligent autonomous reconnaissance and strike complexes with unique technological capabilities.*

Keywords: *artificial intelligence, unmanned aerial vehicles, reconnaissance, combat systems, autonomous technologies, armed conflict*

Вступ

Сучасний збройний конфлікт в Україні демонструє зростаючу роль безпілотних систем, керованих штучним інтелектом. Інноваційні технології радикально змінюють тактику ведення бойових дій, зменшуючи залежність від людського фактора. Автономні системи з алгоритмами машинного навчання забезпечують високу ефективність розвідки та бойових операцій, дозволяючи швидко аналізувати дані та приймати рішення в реальному часі.

Результати дослідження

Штучний інтелект у сфері розвідки та цілевказання дозволяє безпілотним літальним апаратам здійснювати моніторинг місцевості, аналізувати рух противника та передавати координати цілей у режимі реального часу. Завдяки технологіям комп'ютерного зору та глибокого навчання, БПЛА можуть самостійно розпізнавати ворожі об'єкти, класифікувати їх та визначати пріоритетність цілей. У сфері автономного ураження застосовуються дрони-камікадзе, які здатні самостійно знаходити, ідентифікувати та атакувати цілі без безпосереднього втручання оператора. Системи типу ізраїльських «Гарпія» та турецьких розробок Baykar демонструють високу ефективність у бойових умовах. Українські розробники також активно працюють над створенням власних ударних дронів.

Методи протидії ворожим безпілотним системам включають використання алгоритмів прогнозування траєкторії польоту, електронну боротьбу, що забезпечує глушіння каналів зв'язку та управління, а також антидронові системи з лазерною або кінетичною зброєю. Важливим напрямком є вдосконалення технологій розпізнавання та знешкодження ворожих БПЛА, що базуються на застосуванні штучного інтелекту. Попри технологічні переваги, питання автономного ухвалення рішень про ураження залишається дискусійним. Відсутність людського контролю над використанням летальної сили може призвести до невиправданих втрат серед цивільного населення, тому міжнародні організації обговорюють питання законодавчого регулювання таких систем.

Висновки

Штучний інтелект стає ключовим елементом сучасної війни, значно підвищуючи ефективність бойових дій. Однак широке використання автономних бойових систем потребує

не лише технічного вдосконалення, а й правового врегулювання. Україна активно впроваджує власні розробки та шукає шляхи ефективної протидії ворожим технологіям.

Список використаних джерел:

1. Землянська, О. В. (2017). Роль штучного інтелекту для забезпечення життєдіяльності постраждалих у війні. Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки. С. 47–49.
2. Матушевська Ірина Андріївна, Барна Ольга Василівна. Особливості створення навчального курсу з основ штучного інтелекту. 2022. http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/27455/3/Barna_Matyshevska.pdf
3. Штучний інтелект на полі бою російсько-української війни. https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/3444808-stucnij-intelekt-na-poli-bou-rosijskoukrainskoi-vijni.html

Кобенда Денис Сергійович – *слухач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет,e-mail: kobendadenis@gmail.com*

Бондаренко Павло Якович – *викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: pavlobondarenko1970@gmail.com*

Kobenda Deny – *student of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, e-mail: kobendadenis@gmail.com*

Pavlo Bondarenko – *Lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, e-mail: pavlobondarenko1970@gmail.com*

УДК 629.113

Бажинов О. В., Кікла Є. М.

КОНЦЕПЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЯГОВИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Анотація. *Розглядаються ключові аспекти експлуатації тягових акумуляторних батарей (АКБ), які є основою для роботи електромобілів, навантажувачів та інших видів електротранспорту. Описано основні типи АКБ, критерії їхнього вибору та правила встановлення. Надання інформація для оптимізації роботи та продовження терміну служби тягових АКБ.*

Ключові слова: *електромобіль, акумуляторна батарея, модель, температурний розгін.*

Abstract. *The key aspects of operation of traction batteries (batteries) are considered, which are the basis for the operation of electric vehicles, forklifts and other types of electric transport. The main types of batteries, their selection criteria and installation rules are described. Information is provided to optimize the operation and extend the service life of traction batteries.*

Keywords: *electric vehicle, battery, model, temperature acceleration.*

В умовах глобального переходу на екологічно чисті джерела енергії та зростання популярності електротранспорту тягові акумуляторні батареї (АКБ) стають критично важливим компонентом. Від їхньої надійності, ефективності та терміну служби безпосередньо залежить продуктивність і економічність електротранспорту. Однак, щоб досягти максимального ресурсу та уникнути передчасного виходу з ладу, потрібна чітка та системна концепція їхньої експлуатації [1,2].

Мета роботи полягає в розробці та обґрунтуванні комплексної концепції експлуатації тягових акумуляторних батарей (АКБ). Ця концепція охоплюватиме всі ключові етапи життєвого циклу АКБ, від вибору та встановлення до обслуговування, заряджання та утилізації. Дослідити механізми загоряння *Li-ion* акумуляторних батарей та оцінити ефективність існуючих методів їх гасіння з метою розробки рекомендацій щодо підвищення їх безпеки. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати основні причини займання акумуляторних батарей; дослідити механізми розвитку пожежі та можливості її локалізації; оцінити ефективність сучасних методів пожежогасіння електротранспорту; розробити рекомендації щодо підвищення рівня пожежної безпеки електромобілів

Основні завдання:

1. Систематизувати існуючі знання про різні типи тягових АКБ, їхні характеристики та особливості застосування.
2. Розробити рекомендації щодо вибору та встановлення АКБ, враховуючи специфіку електротранспорту.
3. Визначити оптимальні режими заряджання та розряджання для різних типів АКБ з метою максимізації їхнього терміну служби та ефективності.
4. Сформулювати правила регулярного обслуговування та моніторингу стану АКБ, зокрема роль систем керування батареями (BMS).
5. Надати рекомендації щодо безпечного зберігання та транспортування АКБ.
6. Обґрунтувати важливість і принципи екологічно відповідальної утилізації відпрацьованих АКБ.
7 Проаналізувати основні причини займання акумуляторних батарей; дослідити механізми розвитку пожежі та можливості її локалізації; оцінити ефективність сучасних методів пожежогасіння електротранспорту; розробити рекомендації щодо підвищення рівня пожежної безпеки електромобілів

Кінцевою метою є створення практичного посібника, який допоможе оптимізувати експлуатацію тягових АКБ, підвищити їхню надійність та безпеку, а також знизити загальні експлуатаційні витрати.

Причини пожежі Li-ion акумулятора (згідно з науковими та технічними даними) є - перегрів осередку: може бути спричинений інтенсивним навантаженням, поганим охолодженням або коротким замиканням. Як тільки температура перевищує ~60–70°C — активується внутрішня деградація, і осередок може зайнятися. Поширення тепла — один перегрітий осередок передає тепло сусіднім, запускаючи ланцюгову реакцію (thermal propagation). Візуально на зображенні видно це у вигляді хвилі нагріву, що поширюється через модуль. Термічний розгін: температура досягає критичної межі (~150–200°C), після чого виділяються горючі гази, які займаються. Результат — раптова пожежа або вибух. Механічне пошкодження або дефект виробництва: може бути спричинено ДТП, мікротріщинами або проблемами герметизації. Згідно з даними [UL, NREL, SAE], термічний розгін є критичним сценарієм, що потребує термічного моніторингу, якісного охолодження та автоматичного відключення енергії

Температурний розгін — це неконтрольований процес самонагрівання в літій-іонній батареї, що може призвести до її займання або вибуху. Це відбувається: початковий перегрів (може бути спричинений зовнішнім джерелом тепла, коротким замиканням, механічним пошкодженням або перезарядом); при підвищенні температури (прибл. 70–90°C) руйнується пасивний SEI-шар (Solid Electrolyte Interphase), який захищає анод; вивільнюється літій, який починає агресивно реагувати з електролітом; виділяється тепло, яке ще більше підвищує температуру — самопосилювальний цикл. При температурі ~130–150°C відбувається розкладання електроліту → вивільнення горючих газів (етилен, метан, фтористий водень тощо). Якщо температура зростає до ~200–250°C, може загорітися електроліт. При ~600–800°C можливий вибух внаслідок накопичення тиску та займання газів (табл. 1).

Таблиця 1 - Типовий сценарій розвитку подій (фазово)

Фаза	Температура	Процеси	Наслідки
Ініціація	~60–100°C	Пошкодження, коротке замикання	Початкове нагрівання
SEI-руйнування	~100°C	Хімічна деструкція SEI	Самонагрівання
Розкладання електроліту	~130–150°C	Вивільнення газів	Підвищення тиску
Запалювання	~200–250°C	Горіння електроліту	Пожежа
Вибух	~600–800°C	Накопичення газів, руйнування корпусу	Вибух батарейного модуля

Основні причини температурного розгону: перезаряд (вище 4.2 В/елемент); глибоке розрядження (менше 2.5 В → утворення мідних дендритів); коротке замикання; пошкодження сепаратора (призводить до контакту анода і катода).

Зовнішній вплив: удари, проколи, перегрів. Пожежа та вибух: що саме горить - органічний електроліт (легкозаймистий); пластикові компоненти корпусу; газоподібні продукти розкладання (етилен, фтористі сполуки); реакція літію з водою або вологою повітря → утворення займистого водню.

Методи захисту від температурного розгону: BMS (Battery Management System): відстеження напруги, температури, струму; сепаратори з shut-down механізмом (тануть при критичній температурі); запобіжні клапани для скидання тиску; термостійкі матеріали корпусу; модульне проектування: ізоляція пошкодженого елемента.

Висока температура може викликати «термічний розгін», коли батарея починає виділяти велику кількість тепла та газів, що збільшує ймовірність займання або вибуху.

Причини підвищення температури, що можуть призвести до термічного розгону: перезаряджання: надмірна напруга призводить до хімічної нестабільності в осередках батареї. Глибока розрядка: може спричинити внутрішні короткі замикання при наступному циклі зарядки. Внутрішнє коротке замикання: через дефекти виробництва або механічне пошкодження — спричиняє різке зростання температури. Литий-іонні акумулятори при перезаряді та не до заряді мають осадження металевого літію (у вигляді дрібно

роздробленого мошистого осаду), що є небезпечно та провокує виникнення короткого замикання, пожежі чи вибуху у ньому.

Інженерні рішення для запобігання вибухам: вбудовані захисні клапани або спеціальні оболонки в акумуляторах можуть допомогти запобігти вибухам. Наприклад, використання матеріалів, які здатні витримати високі температури без руйнування структури, зменшує ризик вибуху в умовах пожежі або аварії; покращена інфраструктура для аварійного реагування; створення відповідних інфраструктурних заходів, таких як спеціально підготовлені рятувальні служби, навчання персоналу для роботи з електричними автомобілями в аварійних ситуаціях і використання спеціальних засобів для безпечного видалення загорілих акумуляторів з автомобіля, може значно підвищити безпеку при аваріях з електричними транспортними засобами.

Ці заходи допомагають зменшити ризики, пов'язані з пошкодженням акумуляторів і їх впливом на безпеку водіїв і пасажирів в разі аварій.

Список використаних джерел:

1. Бажинов, О.В., Кравцов, М.М., 2022. Небезпека транспортних засобів. Монографія. Харків: ЧП Стариченко Л.А., 160 с. Режим доступу : https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/6638/1/BazhynovKravtsovNebezpekaTransportnykhZasobivM22.pdf

2. Бажинов, О.В., Бажинова, Т.О., Кравцов, М.М., 2018. Основи ефективного використання екологічно-чистих автомобілів. Монографія. Харківський національний автомобільно-дорожній університет; Харків: Панов А. М. [вид.], 199 с.: рис., табл. Бібліогр.: с. 196-199. – 50. - ISBN 978-617-7722-30-3.

Бажинов Олексій Васильович – *доктор технічних наук, професор кафедри інжинірингу систем автомобільного транспорту Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, буд.25, інд. 60001, e-mail: alexey.bazhinov@gmail.com ORCID.org/0000-0002-5755-8553*

Кікла Едуард Миколайович *– аспірант кафедри інжинірингу систем автомобільного транспорту Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, буд. 25, інд. 60001, e-mail:eduardkykla@gmail.com ORCID 0009-0006-8547-2120*

Alexey Bazhinov *– Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Engineering Systems Automobiles Transport,, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Jaroslava Mudrogo St., Building 25, Ind. 6001, e-mail: alexey.bazhinov@gmail.com ORCID.org/0000-0002-5755-8553*

Kykla Eduard *– aspirant of the Department of Engineering Systems Automobiles Transport,, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Jaroslava Mudrogo St., Building 25, Ind. 6001, e-mail: eduardkykla@gmail.com ORCID 0009-0006-8547-2120*

УДК 355.415

Стаднік А. Г., Юхно В. А.

СПОСОБИ УПРАВЛІННЯ НОВОСТВОРЕНИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ І ЧАСТИНАМИ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ (БАК)

Анотація. *Проаналізовано організаційну структуру підрозділів, методи координації та контролю, використання сучасних технологій і підготовку персоналу. Визначено переваги і недоліки централізованого, децентралізованого та комбінованого управління. Запропоновано перспективи вдосконалення системи управління БАК. Робота базується на вивченні наукових публікацій, офіційних документів та практичного досвіду застосування БАК у сучасних умовах.*

Ключові слова: *безпілотні авіаційні комплекси, управління, організаційна структура, координація, технології, підготовка персоналу.*

Annotation. *The organizational structure of the units, methods of coordination and control, use of modern technologies and personnel training are analyzed. The advantages and disadvantages of centralized, decentralized and combined management are determined. Prospects for improving the management system of the LAC are proposed. The work is based on the study of scientific publications, official documents and practical experience in the application of the LAC in modern conditions.*

Keywords: *Unmanned aircraft systems, management, organizational structure, coordination, technologies, personnel training.*

Вступ

Безпілотні авіаційні комплекси (БАК) відіграють ключову роль у сучасних військових операціях, забезпечуючи розвідку, коригування вогню, спостереження і виконання бойових завдань. В умовах стрімкого розвитку технологій і зростаючих вимог до точності і швидкості реагування роль БАК стає ще важливішою. Управління новоствореними підрозділами і частинами БАК потребує впровадження ефективних методів і способів організації, координації і контролю. Важливо враховувати як технічні аспекти, так і людський фактор, забезпечуючи максимальну злагодженість і ефективність роботи всіх елементів системи. У цьому рефераті розглядаються основні способи управління такими підрозділами, їх особливості та перспективи вдосконалення.

Результати дослідження

Організаційна структура підрозділів БАК відіграє вирішальну роль у досягненні поставлених цілей. Вона повинна забезпечувати ефективне планування, управління і виконання завдань. До основних елементів структури належать командування підрозділу, оперативна група, технічна служба та екіпажі операторів. Кожен із цих компонентів має чітко визначені функції, що дозволяє уникнути дублювання обов’язків і підвищує оперативність виконання завдань. Важливою складовою організаційної структури є також наявність аналітичного підрозділу, який відповідає за обробку отриманої інформації і її передачу в реальному часі для ухвалення рішень.

Централізоване управління передбачає, що всі рішення приймаються на рівні командування і доводяться до підрозділів у вигляді наказів і розпоряджень. Такий підхід забезпечує високу координацію і єдність дій, проте може призвести до уповільнення процесу прийняття рішень у критичних ситуаціях, особливо коли необхідно швидко реагувати на зміну обстановки.

Децентралізоване управління надає підрозділам більшу автономію, дозволяючи приймати рішення на місцях відповідно до оперативної обстановки. Це сприяє підвищенню гнучкості і швидкості реагування, проте вимагає високого рівня підготовки персоналу і злагодженості дій. Важливою умовою успішного децентралізованого управління є наявність ефективної системи зв’язку і обміну даними між усіма рівнями управління.

Комбіноване управління поєднує в собі переваги централізованого і децентралізованого підходів, забезпечуючи стратегічне керівництво з боку командування і тактичну автономію на рівні підрозділів. Це дозволяє оптимізувати процес ухвалення рішень і підвищити ефективність виконання завдань. Важливим аспектом комбінованого управління є чітке розмежування повноважень і відповідальності між рівнями командування і підрозділами на місцях.

Використання сучасних технологій є невід'ємною частиною ефективного управління підрозділами БАК. Інформаційні системи, засоби захищеного зв'язку, програмне забезпечення для обробки і аналізу даних дозволяють значно підвищити точність і оперативність прийняття рішень. Автоматизовані системи управління військами (АСУВ) забезпечують централізований збір, обробку і поширення інформації, що сприяє кращій координації і контролю. Впровадження технологій штучного інтелекту і машинного навчання дозволяє оптимізувати процес аналізу великих обсягів даних і виявляти закономірності, що сприяють ухваленню обґрунтованих рішень.

Підготовка і навчання персоналу є ключовим фактором у забезпеченні ефективного управління. Програми підготовки повинні включати як теоретичні курси, так і практичні тренування на тренажерах і в польових умовах. Важливо також постійно вдосконалювати знання і навички персоналу, ознайомлюючи їх із новітніми технологіями і методиками управління. Особливу увагу слід приділяти психологічній підготовці операторів, оскільки робота з БАК вимагає високої концентрації, швидкого реагування і вміння працювати в стресових умовах.

Висновок

Ефективне управління новоствореними підрозділами і частинами БАК вимагає комплексного підходу, що включає вибір оптимальної організаційної структури, застосування сучасних технологій і належну підготовку персоналу. Впровадження комбінованої системи управління дозволяє досягти балансу між координацією і автономією, що підвищує гнучкість і ефективність виконання завдань. Лише за умови злагодженої роботи всіх компонентів можливе успішне виконання бойових завдань і максимальна ефективність використання безпілотних авіаційних комплексів.

Список використаних джерел:

1. Військові статути Збройних сил України.
2. Наукові публікації з тематики управління БАК.
3. Інструкції та методичні рекомендації щодо використання БАК.
4. Монографії і підручники з військового управління.
5. Матеріали конференцій і семінарів із питань розвитку безпілотних технологій.
6. Офіційні документи Міністерства оборони України.
7. Аналітичні звіти з досвіду застосування БАК у сучасних збройних конфліктах.

Стаднік Анна Григорівна – *громадянка кафедри Військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця,e-mail:stadnikanna2909@gmail.com*

Юхно Віталій Анатолійович *– старший викладач кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail:1970yva@ukr.net*

Stadnik Anna Hryhorivna – *a citizen of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: stadnikanna2909@gmail.com*

Yukhno Vitaly Anatoliyovych *– senior lecturer of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Ivan KozhedubKharkiv National University of the Air Force, Kharkiv, e-mail: 1970yva@ukr.net*

УДК 629.735.7

Стаднік А. Г., Сула В. Є.

ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ БЕЗПІЛОТНИМ АВІАЦІЙНИМ КОМПЛЕКСОМ

Анотація. *У роботі описані основні напрямки вдосконалення, такі як підвищення автономності, покращення навігації, забезпечення захисту від зовнішніх загроз, інтеграція з іншими системами та удосконалення інтерфейсу. Дослідження показує, що комплексний підхід до розвитку систем управління значно підвищує ефективність роботи БАК.*

Ключові слова: *безпілотний авіаційний комплекс, управління, автономність, навігація, захист, інтеграція, інтерфейс.*

Abstract. *The paper describes the main areas of improvement, such as increasing autonomy, improving navigation, ensuring protection against external threats, integration with other systems and improving the interface. The study shows that an integrated approach to the development of control systems significantly increases the efficiency of the LAC.*

Keywords: *unmanned aerial vehicle complex, control, autonomy, navigation, protection, integration, interface*

Вступ.

Безпілотні авіаційні комплекси сьогодні є важливою частиною як військових, так і цивільних операцій. Вони мають багато переваг завдяки своїй мобільності, точності та можливості виконання завдань без ризику для людини. Водночас, щоб ці системи працювали максимально ефективно, необхідно постійно вдосконалювати їхні системи управління. Це стосується як технічних рішень, так і програмного забезпечення. Для цього постійно потрібно навчатись та дізнаватись щось самостійно,оскільки в кожній місцевості потрібні різні можливості БАК.

Результати дослідження.

Одним із ключових напрямків удосконалення є підвищення рівня автономності БАК. Завдяки використанню сучасних алгоритмів штучного інтелекту дрони можуть приймати рішення самостійно, що підвищує швидкість і точність виконання завдань. Автономні системи дозволяють зменшити навантаження на операторів і мінімізують ризик людських помилок під час виконання складних завдань. Це також дає змогу БАК ефективно працювати в умовах обмеженого або повністю відсутнього зв’язку з центром управління.

Важливою складовою є також вдосконалення навігаційних систем. Поєднання GPS, ГЛОНАСС та інерційних навігаційних систем (INS) дає змогу досягти максимальної точності польоту. Крім того, перспективним напрямком є використання технологій комп’ютерного зору та лідарів, які дозволяють БАК орієнтуватися в просторі без опори на супутникові системи, що особливо важливо в умовах радіоелектронної боротьби.

Захист систем управління від зовнішніх загроз також відіграє важливу роль. Кібербезпека, шифрування даних і захищені канали зв’язку дозволяють уникнути несанкціонованого доступу до системи та забезпечують стабільну роботу комплексу навіть за умов електронного придушення. Використання технологій виявлення та протидії спробам перехоплення керування дозволяє зберегти контроль над БАК навіть у складних умовах бойових дій.

Інтеграція БАК з іншими системами, такими як наземні або морські комплекси, дозволяє покращити координацію дій під час виконання складних операцій. Спільне використання даних із різних джерел, таких як радари, супутники і розвідувальні комплекси, забезпечує більш повну картину оперативної обстановки і дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення.

Інтерфейс управління також має бути зручним і зрозумілим для оператора. Використання візуально зрозумілих графічних панелей, систем доповненої реальності і голосового керування допомагає знизити ймовірність помилок і підвищити ефективність управління. Важливим є також створення системи навчання та тренування операторів, яка враховує можливі стресові ситуації і дозволяє швидко реагувати на зміни обстановки.

Але головною проблемою таких дронів залишається цінова політика ,потрібно дуже велика кількість ресурсів для створення одного дрону. Також має бути дуже кваліфікована підготовка для керування таким дроном.

Висновок.

Покращення систем управління безпілотними авіаційними комплексами — це складний і багатосторонній процес. Використання сучасних технологій, підвищення рівня автономності, вдосконалення навігації та забезпечення захисту дозволяють значно підвищити ефективність БАК. Успішне впровадження таких змін потребує підготовки кваліфікованих спеціалістів і розробки надійного програмного забезпечення.

Список використаних джерел:

1. Василенко В.А. Системи управління безпілотними літальними апаратами. — Київ: Наукова думка, 2020;
2. Петров І.О. Основи авіаційних технологій. — Харків: Авіаінформ, 2019;
3. Іваненко М.С. Авіаційні системи та їх перспективи розвитку. — Львів: Техніка, 2021.

Стаднік Анна Григорівна *– громадянка кафедри Військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця,e-mail:stadnikanna2909@gmail.com*

Сула Володимир Євгенович *– старший викладач кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: sula72@ukr.net*

Stadnik Anna Hryhorivna *- a citizen of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: stadnikanna2909@gmail.com*

Sula Volodymyr Yevhenovych *– senior teacher of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub , Kharkiv, e-mail:sula72@ukr.net*

UDC 355.5

Anatolii Shyian, Liliia Nikiforova

TECHNOLOGIES FOR USING DRONE SWARMS ON THE BATTLEFIELD IN CONDITIONS OF ACTIVE ENEMY COUNTERMEASURES

Annotation. *Here, directions for the development of the use of drones for a large number of tasks are outlined. The use of drones in the conditions of war presents the greatest number of challenges, so our presentation is focused on these conditions. Below is a set of projects that will need to be completed on the way to creating a system of autonomous, hierarchically organized swarms of drones that will be able to replace people on the battlefield. For tasks of a civil nature, these results must also be obtained. For example, in the conditions of activity in space, this will be decisive.*

Keywords*: battlefield, drone industry, development, potential projects, applications, military, civilian.*

Introduction.

Drones are widely used in combat operations. Many articles are devoted to controlling the movement of drones, especially in conditions of active enemy opposition.

Transition to problem statement. Motivation.

Countermeasures against drones are widely used on the battlefield. Today, drones often have to perform operations in conditions with obstacles that affect their positioning on the battlefield. Those drones will win that will form local positioning systems and independently form target coordinates. The development of new technologies for countering enemy electronic warfare systems is also important. Drone swarm operations on the battlefield require new approaches to the formation of information technologies for visualizing the battlefield, saturated with electronic warfare and enemy countermeasures.

Today, a transition is taking place on the battlefield from the use of individual drones to the use of drone swarms. This puts forward new requirements for the number of approaches to the formation of such technologies.

Organization of swarm drone operations in the absence of global positioning.

A swarm enters a region of space where there is no global positioning (for example, electronic warfare equipment is operating, there is an obstacle on the communication path, etc.).

In this case, one can create local coordinates in this area. For example, in the general case, it can be four drones that form a tetrahedron in space (that is, a plane cannot be drawn through them). One of the drones will be used as the "origin of coordinates/point of reference".

Using various means (laser radiation, optical elements (rangefinders), radio radiation at certain frequencies (which are not jammed), etc.), other drones in the swarm get unambiguous positioning in these "local coordinates". Using the same means, the area of activity (as well as individual activity goals) of the pack is also fixed/set in these local coordinates.

A tetrahedron (that is, four drones that set local coordinates) can function for a relatively short time, provided that there are four drones in the swarm that have the ability to measure the distance both among themselves and to the required elements of the area/environment of activity (including changing the environment itself/goals both in coordinates and in time). The recalculation of coordinates from the initial state to the current state is elementary (requires elementary calculations, and therefore will not make special demands on microprocessors).

In some cases, three drones can be used, then the active drones will be considered as vertices of the "situational" tetrahedron. However, at the same time, it is necessary to fix the "top" and "bottom" sides in relation to the plane formed by the three drones that create local coordinates.

The model for three-dimensional space is described above. If there is an operational space, it can be represented as a plane in a certain approximation, then three drones make up a complete coordinate

system. And using two drones and fixing the sides (“forward” and “back”) allows you to limit yourself to two drones.

In real cases, the drones that form the local coordinates may be far from the operational area for the drone swarm. For example, they can be far behind the front line to their territory, being at a high altitude, and the swarm can be several tens of kilometers deep into the territory of the enemy.

Local coordinates can be formed not only by drones. For this, depending on the situation, you can use airplanes, a set of towers, hot air balloons or airships, boats, etc.

Let’s emphasize that it is possible to use overlapping local coordinates. The overlap area will be used to move from the "previous" to the "new" local coordinates.

Similarly, it is possible to build local coordinates with drones that function (as supporting elements of local coordinates) for a very short time (for combat conditions, stealth of action, etc., this can be important). Then the "capture" of local coordinates can be carried out through the use of four drones of the swarm itself. The only important limitation will be that when the swarm goes outside the environment area that was "covered" by local coordinates, new local coordinates must be built (but in this case it is desirable to use the overlapping area of two local coordinate systems).

Countermeasures to EW.

Today, the field of electronic warfare (EW) is distinguished by the fact that drones do not have the ability to communicate both with human operators and with other drones. In these cases, they try to use other frequencies for communication. And it affects the intensity of the flow of information that the drone needs to send/receive. This is due to the fact that drones are used, which must be smoothly controlled by a human operator.

It is possible to try to control drones in the area of EW through the main communication channels. This can be optical fiber or metal wire (as it was used for anti-tank missiles back in the 1960s). Unfortunately, the peculiarities of the use of drones in the modern field of drones lead to a large number of specific problems. Among which should be highlighted the use of drones, for example, among the ruins of buildings, in plantings, etc. In addition, as a result, the battlefield will quickly become littered with fragments of optical fibers or wires, which will interfere with the movement of drones (fragments of wires in the air will affect the propellers of drones, and a tangle of wires on the ground will cling to the wheels, skin and weapons of drones).

There are two ways out. The first is the use of a swarm of drones, which consists of an observer/coordinator drone (it moves outside the EW area) and a collection of executive drones (which perform operations in the EW area). The observer/coordinator drone determines a set of targets and sets their coordinates outside the EW area using a local coordinate grid (described above). Corner reflectors one may to use either in the optical range or in the ranges that do not suppress EW will be used as a coordinate grid. The performing drone is guided to the target independently, using corner reflectors as reference points of the local coordinate system. For stationary targets in this case, the accuracy of hitting will be high. For moving targets, it is possible to use the prediction of the trajectory of these targets by the observer/coordinator drone, which is outside the EW area and can set the aiming point by interpolating the target's trajectory. For this, he can use, for example, the powerful computer capabilities of operators who are on their territory far from the battlefield. Note that in this case, several executive drones can attack one moving target, each of which is aimed at different aiming points (which are calculated under different assumptions about the further movement of the target).

The second direction of operations by executive drones in the EW area is as follows. The performer drone is controlled by signals from the observer/coordinator drone, which are provided at discrete time intervals. It can be a scattered laser beam, a signal at a different frequency, etc. At the same time, the letters of the M2 language will be used to control the movement of the performing drone. Thus, the discrete control of the drone will be carried out.

Finally, marks can be dropped on the target (for example, at night), which consist of an angular reflector, which the performer drone is directed to. It is advisable to use laser radiation.

Visualization of the battlefield with EW and countermeasures (own and enemy).

Creating a 3D map of the battlefield. The map itself is 2D. The vertical axis is the level of danger for drones that fly (moving on the ground, swimming, moving under water). Danger can be from EW,

countermeasures, artillery, machine guns, etc. The probability of damage to the drone can be plotted along the vertical axis.

In this case, visualization of the battlefield is achieved. Simulating attacks uses information about the availability of countermeasures (similarly, the task of protecting the battlefield takes into account its own capabilities).

Attack optimization boils down to finding trajectories and attack conditions for drones that move in space/plane and should minimize a given utility function (eg, the minimum amount of damage for an optimal trajectory). Also, such simulations allow you to choose both the number and the nomenclature of drones to obtain the planned effect.

Visualization also allows the commander/officer, by applying knowledge, experience and intuition, to reduce the number of necessary calculations.

The defense of one's own battlefield is carried out in a similar way, while the location of one's own forces is optimized to counter existing enemy forces.

Discussion and outlook.

At the stage of starting work, one can take the patents for both methods/technologies and devices. For devices, the number of patents can be quite large, because they will take into account the activity depending on the specifics of the environment. The patents can be used not only for military activities, but also for civilian ones. All proposed projects can be optimally implemented within the framework of international teams of scientists. We are open to such research.

More detailed approaches to the technologies for using drone swarms on the battlefield are given in [1-4].

List of sources used:

1. Shyian, Anatolii. Approach to Conception and Modeling for Distributed Hierarchical Control for Autonomous Drone Swarm (September 12, 2023). Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=4569538 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4569538. 18 p.
2. Shyian, Anatolii. Approach to conception and modeling for distributed hierarchical control for autonomous drone swarm. Advances in Machine Learning & Artificial Intelligence. 2024. V. 5, N 1.01-08.
3. Shyian, Anatolii, Drone Wars. Episode 2. Development of the approach to the organization of air defense against drones and cruise missiles in the rear and on the battlefield (October 24, 2023). Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=4611845 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4611845. 14 p.
4. Shyian, Anatolii and Nikiforova, Liliia, The program of potential projects implementation for the optimal directions of the drone industry development for military and civilian applications (September 29, 2024). Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=4971146 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4971146. 13 p.

Шиян Анатолій Антонович *– кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри управління та безпеки інформаційних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, корпус 95, проф. 20021, e-mail: anatoliy.a.shiyan@gmail.com. ORCID https://orcid.org/0000-0002-5418-1498*

Нікіфорова Лілія Олександрівна *– к.е.н., доцент, доцент кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, вул.Хмельницьке шосе, буд.95, інд.20021, електронна пошта: nikiforovalilia@gmail.com. ORCID https://orcid.org/0000-0002-7034-607X*

Shyian Anatolii Antonovych *– PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Associate Professor in Department of Management and Security of Information Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Khmelnytske Shosse St., Building 95, Ind. 20021,*
e-mail: anatoliy.a.shiyan@gmail.com. ORCID https://orcid.org/0000-0002-5418-1498

Nikiforova Liliia Oleksandrivna *– PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor in Department of Management and Security of Information Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Khmelnytske Shosse St., Building 95, Ind. 20021, e-mail: nikiforovalilia@gmail.com. ORCID https://orcid.org/0000-0002-7034-607X*

УДК 621.396.96

Камалтинов Г. Г., Тютюнник В. О., Тах'ян К. А.

АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ СТВОРЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація. *Доповідь присвячена аналізу світового досвіду створення радіолокаційних засобів (РЛЗ) виявлення безпілотних літальних апаратів (БпЛА). Наводиться перелік відомих РЛЗ та їх розробників. Розглядаються основні тенденції розвитку РЛЗ виявлення БпЛА. Обговорюються новітні технології побудови РЛЗ означеного класу.*

Ключові слова*: радіолокаційні засоби, безпілотні літальні апарати, тенденції розвитку****.***

Annotation. *The report is devoted to the analysis of global experience in the creation of radar systems for detecting unmanned aerial vehicles (UAVs). A list of known radar systems and their developers is provided. The main trends in the development of radar systems for detecting UAVs are considered. The latest technologies for building radar systems of this class are discussed.*

Keywords*: radar systems, unmanned aerial vehicles, development trends.*

На цей час радіолокаційні засоби для виявлення БпЛА розробляють багато світових розробників радіолокаційних станцій, основні відомі з них наведені у табл.1.

З урахуванням розв'язуваних завдань і умов застосування на цей час існують різні типи РЛС виявлення БпЛА, які можуть класифікуватися за такими ознаками:

– мобільність: стаціонарні для радіолокаційного захисту від дронів постійних об'єктів, мобільні на транспортних платформах або переносні;

– розміщення: наземні, аеростатні, авіаційні, корабельні;

– принцип роботи: імпульсні, безперервного випромінювання, когерентно-імпульсні або із синтезованою апертурою;

– діапазон хвиль, якій використається або багато діапазонні;

– за тактичним призначенням: РЛС систем індивідуального захисту від дронів, РЛС систем колективного захисту, засоби охорони периметрів та аеродромів, спеціалізовані РЛС виявлення та наведення перехоплювачів; засоби радіолокаційної розвідки мобільних вогневих груп та комплексів радіоелектронної боротьби з БпЛА, багатофункціональні РЛС.

Склад та облік радіолокаційних станцій виявлення БпЛА визначається принципами їх дії, цільовим призначенням та специфікою завдань, які мають вирішувати РЛС, а також технологічним рівнем, досягнутим в областях матеріалознавства, електротехніки, радіотехніки та радіоелектроніки на момент розроблення РЛС, але вирішальним є тактичне призначення, яке суттєве впливає на параметри зони огляду, точності характеристики та розрізнювальні спроможності за координатами та таким чином визначає розміри антенної системи і діапазон роботи.

Як правило, порівняння різних засобів виявлення БпЛА здійснюють за наступними параметрами:

– діапазоном хвиль роботи;

– типом випромінювання;

– дальністю виявлення мікроБпЛА (MicroUAS) с ЕПР=0,01м2;

– параметрами зони огляду за азимутом та кутом місця.

Дальність виявлення мікроБпЛА (MicroUAS) с ЕПР=0,01м^2 складає від 2 до 12 км. Максимальна (інструментальна) дальність у різних зразків може бути від 5 до 40 км Спеціалізовані РЛС виявлення БпЛА розвіваються у основному за двома технологіями побудови:

– з випромінюванням безперервних частотно-модульованих сигналів (Frequency-Modulated Continuous Wave, FMCW) з рознесеними приймальної та передаючою антенами, найчастіше використаються у якості зондуючих безперервні трикутні ЛЧМ сигнали;

– імпульсно-допплерівські (Pulse- Doppler) РЛС із суміщеними антенними системами.

За публікаціями останніх років можна визначити таки тенденції розвитку РЛЗ виявлення БпЛА:

1) значне розширення частотних діапазонів, які використовують РЛС;

2) досягнення нових функціональних можливостей РЛС. Побудова на основі базового зразка ряду РЛС із різною потужністю випромінювання та різним набором функцій;

3) пошук нових варіантів та удосконалення існуючих конструкції РЛС, використання передових технологій, покращення експлуатаційних характеристик;

4) втілення нових типів сигналів, методів та алгоритмів обробки сигналів;

Таблиця 1. Основні розробники РЛС виявлення БпЛА

Держава	Фірма-розробник	Тип РЛС
В. Британія	Blighter Surveillance Systems	Blighter Series B400, Blighter Series A800
Німеччина	HENSOLDT	Spexer 2000 Mk 3
	Thales	Ground Observer 12
США	Leidos	GA 3360GA4120 GA9000 GA1360 GA7360
	Fortem Technologies.	Trueview™ R20, Trueview™ R30
	Telephonics Corporation	ARSS
	Echodyne	MESA EchoShield, EchoGuard, EchoFlight
	Beechwood	R8SS-3D
	Lockheed Martin	P-STAR
Туреччина	Meteksan	Retinar PTR,Retinar FELIX (ІД), Retinar GSR, Retinar FAR-AD
	Aselsan	ACAR
Ізраїль	ELTA Systems Ltd	ELM- 2105, ELM-2026, ELM-2112 V8, ELM-2138, ELM-2180
	Elbit Systems	DAiR, ELM-2135
	RADA Electronics Industries	RPS-42, RPS-82
	GETS Systems	HLS GSR
Німеччина	Thales ATM GmbH	Master , Searchmaster
Франція	THOMSON-CSF	Horizon
Польща	Argustecn	AGT-3D-RD6000KU, AGT-2D-RD2000STS, AGT-2D-RD800ES AGT-2D-RD1000STS, AGT -2D-RD600STS, AGT-3D-RD5000X
	Advanced Protection Systems SA	FIELDctrl Advance 3D MIMO Radar FIELDctrl Range 3D MIMO Radar FIELDctrl Runway 3D MIMO Radar FIELDctrl Ultra 3D MIMO Radar
Нідерланди	Robin Radar Systems	Robin Radar 3D Flex IRIS Drone Radar, TMARS
Італія	Leonardo	TMMR Lyra 10
Швеція	Ericsson Microwave Systems	HARD 3D
КНР	Nanoradar	SAC263-800
	Hangzhou Fanyue Industrial Co	X-Band 1700
Південна Корея	LOOP	LR500
	Toris Square	Elijah2
	ETRI и Hanwha Systems Co	LADD
Росія	НПЦ ЭЛВИС	ЕНОТ
	ГК СОЗ	Репейник
	Системы защиты"	ОД-718
	Радарные технологии	РЛС-БПЛА РТ
Індія	Bharat Electronics	AMAR, DDR
Іспанія	Indra	SkyFender ADR

5) комплексування РЛС з оптичними системами, засобами радіотехнічної розвідки та активними системами фізичного знищення БпЛА.

Для побудови РЛЗ виявлення БпЛА використаються різні діапазони хвиль. Але застосування L (P-STAR і ELM- 2016NG) та C (TMMR, РЛС-БПЛА РТ) діапазонів скоріше є винятком. В ізраїльських РЛЗ традиційно використається S діапазон, але більшість інших РЛЗ будується у X (8-10 ГГц) і K (15-17 ГГц, 23-24 ГГц) діапазонах хвиль для зниження розмірів антенних систем. У всіх з них використаються технології цифрових фазованих активних решіток. Для огляду простору застосовується механічне обертання антенної системи з одномірною антенною решіткою або секторний огляд двомірною решіткою. РЛС можуть розміщуватися як на тринозі, так і на рухомих шасі.

Для побудови РЛС виявлення БпЛА використовуються сучасні технології та нові розробки у галузях нових матеріалів, обробки та генерування сигналів:

– перехід до безперервних та квазібезперервних частотно-модульованих сигналів, випромінювання багаточастотних зондуючих сигналів і надширокосмугових сигналів;

– використання готових радарних рішень у інтегральному виконанні (–радар на чипе") – прийомопередавачів, синтезаторів сигналів, радарних процесорів тощо;

– застосування SDR-технологій (Software Define Radio – програмне визначення радіо);

– побудова антенних решіток з використанням технології метаматеріалів;

– застосування технологій автомобільних радарних сенсорів і відповідних технологій;

– використання технології цифрових антенних решіток (ЦАР) з круговим електронним скануванням простору;

– значне зменшення маси і габаритів РЛС, втілення технологій SWaP — абревіатура визначає Size, Weight, and Power, (розмір, вага, потужність і вартість);

– обладнання РЛС приймачами системи ADS-B;

– забезпечення процедур вимірювання поточної ефективної поверхні розсіяння цілей;

– забезпечення автоматичної видачі даних споживачам у нових форматах і протоколах обміну інформацією.

Камалтинов Геннадій Григорович *– кандидат технічних наук, СНС, провідний науковий співробітник Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, вул. Сумська 77/79, e-mail: kamgg@i.ua, ORCID https://orcid.org/0000-0002-1449-5230*

Тютюнник Владислав Олександрович *– кандидат технічних* наук, *СНС, начальник управління наукового центру Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, вул. Сумська 77/79, e-mail: tvlad1970@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-7766-3246*

Тах'ян Кристина Альбертівна – *старший науковий співробітник науково-дослідного відділу Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, вул. Сумська 77/79, e-mail: madi27@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0003-0087-9601*

Gennadij Grigjrovich Kamaltynov – *PhD in Engineering Associate Professor Leading Researcher of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University Kharkiv, Symska St., 77/79, e-mail: kamgg@i.ua, ORCID https://orcid.org/0000-0002-1449-5230*

Vladyslav Oleksandrovich Tiutiunnyk – *PhD in Engineering Senior Researcher Head of Scientific Research Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,Kharkiv, , Symska St., 77/79, e-mail: tvlad1970@gmail.com , ORCID https://orcid.org/0000-0002-7766-3246*

Kristina Albertivna Tahyan – *Senior Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Symska St., 77/79, e-mail: madi27@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000-0003-0087-9601*

УДК 621.43.016

Котов Д. О., Марченко В. П., Шишкін Г. Б., Ярошевський О. М.

ПИТАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ НОРМ ВИТРАТИ ПАЛЬНОГО ПРИ ВИКОРИСТАННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Анотація. *Досвід експлуатації озброєння та військової техніки виявляє значну варіативність умов руху, включаючи різноманітність дорожнього покриття, широкі діапазони швидкостей та неповне використання або перевищення номінальної вантажності. Це створює актуальну наукову проблему: поточні норми витрати палива (лінійні норми) орієнтовані на ідеальні умови (найкращі асфальтобетонні дороги та економічні швидкості). Така практика не відображає реальної витрати пального в різних умовах експлуатації. Тому критично важливим є оцінювання впливу ключових експлуатаційних та технологічних факторів (типу/стану дороги, швидкості руху, ступеня завантаження) на фактичні витрати палива. Вирішення цього завдання потребує більш глибокого дослідження для вдосконалення нормування паливних витрат.*

Ключові слова: *озброєння та військова техніка, автомобіль, витрати пального, режим руху, вантажність.*

Abstract. *The experience of operating weapons and military equipment reveals a significant variation in driving conditions, including a variety of road surfaces, wide speed ranges and under-utilisation or over-utilisation of the rated payload. This creates an urgent scientific problem: current fuel consumption rates (linear rates) are focused on ideal conditions (best asphalt roads and economic speeds). This practice does not reflect actual fuel consumption in different operating conditions. Therefore, it is crucial to quantify the impact of key operational and technological factors (road type/condition, speed, degree of loading) on actual fuel consumption. The solution to this problem requires a more in-depth study to improve fuel consumption standards.*

Keywords: *armaments and military equipment, vehicle, fuel consumption, driving mode, load.*

Експлуатація озброєння та військової техніки (далі - ОВТ). у підрозділах Сил оборони України (зокрема Збройних Сил України) в умовах триваючої понад десять років війни набула специфічних рис, відмінних від стандартної практики.

Пальне виступає як критичний елемент військової логістики, забезпечуючи життєво необхідні мобільність та маневреність техніки на полі бою. Специфіка використання ОВТ у зоні бойових дій визначається двома головними чинниками: динамікою швидкісного режиму та якістю дорожніх умов. Режим руху тут прямо залежить від оперативно-тактичних завдань та інтенсивності ворожих загроз. Це призводить до форсованого використання техніки з частою зміною встановлених правил дорожнього руху та швидкісних обмежень, що, у свою чергу, потребує окремого дослідження з погляду впливу на її технічний стан та ресурсозабезпечення.

Отже, існує суттєва практична проблема: фактична витрата пального ОВТ у реальних бойових умовах не відповідає офіційним нормам, встановленим керівними документами та виробниками.

Причини цієї проблеми є комплексними:

виробники зразків ОВТ свідомо публікують занижені показники витрати палива;

іноземне ОВТ часто надходить без затверджених норм витрат;

діюча система нормування не відображає фактичного споживання;

бойова обстановка створила безпрецедентно широке коло умов експлуатації ОВТ, що виходить за межі стандартних нормативів.

Невідповідність між офіційними нормами витрат пального для ОВТ [1] та їхньою реальною витратою в екстремальних умовах експлуатації формує гостру науково-практичну проблему. Суть її не лише у виявленні цих розбіжностей, але й у теоретичному аналізі факторів (змінні умови, недосконалість методик), що спричиняють цю невідповідність.

Зазначена проблематика прямо впливає на експлуатацію ОВТ в бойових умовах та, відповідно, виконання завдань підрозділами Сил оборони України: хибне планування ресурсів через неактуальні норми ускладнює логістику та може призвести до несподіваного дефіциту

пального. В умовах війни, коли оперативність є ключовою, це становить серйозну загрозу для виконання завдань і може мати незворотні наслідки. Отже, наукова розробка нового, адаптованого до воєнного часу методу нормування є критичною необхідністю.

Дослідження показників витрати пального, проведені вітчизняними та закордонними вченими [2-4], здебільшого не отримали належного впровадження у практику. Це пояснюється методологічною прогалиною, а саме нездатністю існуючих моделей комплексно охопити багатофакторний вплив конструктивних (габарити, вага, потужність) та експлуатаційних параметрів при експлуатації ОВТ під час ведення бойових дій.

Отже, складність моделювання посилюється стохастичною природою ключових змінних, включаючи випадкові зміни швидкості руху та передаточних чисел, а також мінливі дорожні й атмосферно-кліматичні умови. Нехтування будь-яким із цих взаємопов'язаних чинників призводить до значних відхилень розрахункових даних від фактичних показників. Тому існує гостра потреба у розробці більш точних і адаптивних моделей, здатних адекватно реагувати на динаміку реальної експлуатації.

Список використаних джерел:

1. Наказ Міністерства оборони України від 06.01.1999 р. № 01 «Про затвердження Норм витрати пального, масел, мастил і спеціальних рідин при експлуатації, ремонті та консервації військової техніки й озброєння Збройних Сил України» зі змінами.

2. Кривошапов С.І., Назаров О.І., Сергієнко М.Є. Оцінка витрати палива автомобілів за питомими значеннями витрати палива та ефективної потужності. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія Автомобіле- та тракторобудування №2, 2022,* с. 85-91, https://doi.org/10.20998/2078-6840.2022.2.09

3. Петрушенко М.М., Будур О.М., Бордіян П.П., Бордіян В.П., Гордішевський Л.Г., Тарасенко С.М. Аналіз експлуатаційних чинників, що впливають на паливну ощадливість вантажних автомобілів. *Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса) № 1 (13) ч. І 2020*, с. 6-9, https://doi.org/10.37129/2313-7509.2020.13.1.6-19.

4. Крайник Л.В. Багатофакторна оцінка та нормування паливної ощадливості вантажних автомобілів: Монографія./ Крайник Л.В., Грубель М.Г. – Львів: Академія сухопутних військ, 2010. – 117с.

Котов Денис Олександрович *– доктор філософії, доцент кафедри автомобільної техніки, Військова академія (м. Одеса), м. Одеса, вул. Фонтанська дорога буд.10, інд. 65009, e- mail: zvyagel.zt@ukr.net. ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-6775-5593*

Марченко Володимир Петрович *– викладач кафедри автомобільної техніки, Військова академія (м. Одеса), м. Одеса, вул. Фонтанська дорога буд.10, інд. 65009, e-mail: marchenko224@ukr.net. ORCID https://orcid.org/0000-0001-5775-4477*

Шишкін Геннадій Борисович *– викладач кафедри автомобільної техніки, Військова академія (м. Одеса), м. Одеса, вул. Фонтанська дорога буд.10, інд. 65009, e-mail: gbsh1966@gmail.com. ORCID https://orcid.org/0009-0006-6463-1524*

Ярошевський Олександр Миколайович *– старший викладач кафедри автомобільної техніки, Військова академія (м. Одеса), м. Одеса, вул. Фонтанська дорога буд.10, інд. 65009, e- mail: 1972yaroshevsky@gmail.com. ORCID https://orcid.org/0000-0002-2608-8624*

Kotov Denys – *Philosophy Doctor in Engineering, Associate Professor of the Department of Automotive Engineering, Military Academy (Odesa), Odesa, Ukraine, St. Fontanska Doroga 10, Ind. 65009, e-mail: zvyagel.zt@ukr.net. ORCID https://orcid.org/0000-0002-6775-5593*

Marchenko Volodymyr – *Lecturer, Department of Automotive Engineering, Military Academy (Odessa), Odesa, Ukraine, St. Fontanska Doroga 10, Ind. 65009, e-mail: marchenko224@ukr.net. ORCID https://orcid.org/0000-0001-5775-4477*

Shishkin Hennadii – *Lecturer, Department of Automotive Engineering, Military Academy (Odessa), Odesa, Ukraine, St. Fontanska Doroga 10, Ind. 65009, e-mail: gbsh1966@gmail.com. ORCID https://orcid.org/0009-0006-6463-1524*

Yaroshevsky Oleksandr – *Senior Lecturer at the Department of Automotive Engineering, Military Academy (Odessa), Odesa, Ukraine, St. Fontanska Doroga 10, Ind. 65009, e-mail: 1972yaroshevsky@gmail.com. ORCID https://orcid.org/0000-0002-2608-8624*

УДК 62.8:355.47

Дігтярь М. М., Жук В. В., Тамбовцев А. П., Коршенко О. О.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУМІСНОСТІ БОРТОВИХ АВІАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ З ПРОТОКОЛАМИ ТА СТАНДАРТАМИ НАТО

Анотація. *Розглядаються концептуальні підходи та техніко-організаційні рішення щодо заміни і доповнення бортових радіозв'язкових систем на літаках Повітряних Сил з метою досягнення сумісності з мережами держав партнерів, вимоги до апаратури криптографічного забезпечення та можливості її модернізації .*

Ключові слова: *цифрові системи, модернізація, НАТО. Quick/SATURN; Link-16.*

Abstract. *Conceptual approaches and technical-organizational solutions are proposed for the replacement and integration of Soviet-era onboard radio communication systems on aircraft such as the MiG-29, Su-27, and Su-25, with the aim of achieving operational interoperability with NATO networks (secure voice communications, BLOS/SATCOM, tactical datalinks — Link-16 or gateway solutions). The requirements for equipment, data buses, cryptographic support, and modernization stages are presented, taking into account the Ukrainian experience in aircraft modernization.*

Keywords: *Quick/SATURN; Link-16; modern SATCOM; NATO.*

Переважна більшість літальних апаратів Повітряних Сил України виготовлені за радянськими стандартами. Їхні системи зв'язку не підтримують сучасні частотні діапазони, цифрові протоколи та захист каналів, що використовуються країнами НАТО. Через це виникають труднощі у спільних навчаннях і бойових операціях, а також знижується рівень безпеки зв'язку. Тому модернізація таких систем є необхідною умовою інтеграції України до структур НАТО.

Одним із ключових завдань для Повітряних Сил згідно зі Стратегією є набуття взаємосумісності бойової авіації України та країн-членів НАТО [1].

Першочерговим напрямом модернізації є заміна старих аналогових засобів на сучасні цифрові програмно-визначувані системи (SDR) [2], які можуть працювати у діапазонах VHF/UHF та підтримують протоколи НАТО — Have Quick II, SATURN. Дані системи забезпечують захищений голосовий зв'язок, передачі даних і стійкість до завад.

Для покращення координації між літаками та командними пунктами пропонується встановлення системи передачі даних типу Link 16 [3] або її спрощених аналогів (gateway). Це дає змогу обмінюватися інформацією про повітряну обстановку в реальному часі.

Link 16 (TADIL J) являється військовою тактичною мережею обміну даними. Використовується США і країнами НАТО. Є однією зі складових частин сімейства тактичних мереж передачі даних TADIL (англ. Tactical Digital Information Link) [4]. Це комунікаційна, навігаційна та ідентифікаційна система, яка підтримує обмін даними між тактичним командуванням, літаками, кораблями і наземними підрозділами (рисунок 1). Зв'язок здійснюється на ультрависокій частоті (дециметрові хвилі). Стрибкоподібна перебудова частоти забезпечує безпеку. Розподіл ресурсів каналу здійснюється за принципом TDMA (time division multiple access), в якому тимчасові інтервали розподіляються серед всіх учасників мережі для передачі та прийому даних. Link 16 забезпечує передачу графічних зображень, текстових повідомлень, а також два канали передачі голосу зі швидкістю 2,4 і/або 16 кбіт/с. Link 16 визначений як один з цифрових сервісів в рамках MIDS (Multifunctional Information Distribution System, багатофункціональна система розподілу інформації), описаний у стандарті НАТО (NATO's Standardization Agreement) STANAG 5516 Ed.4 «Tactical Data Exchange — Link 16».

Мережа Link 16 відповідає Стандарту міністерства оборони США MIL-STD-6016 та стандарту НАТО STANAG 5516 Ed.4 [5]. Розробка Link 16, інтеграція системи у військах і технічне обслуговування здійснювалося Marconi Aerospace, потім GEC-Marconi Hazeltine Corporation, Electronic Systems Division, а потім BAE Systems Electronics & Integrated Solutions спільно з Rockwell Collins.Translated with DeepL.com (free version).

Рис.1 Комунікація в мережі Link 16

Важливим аспектом впровадження системи є апаратурне та програмне забезпечення.

Програмне забезпечення є елементом системи бойового управління з використанням протоколу передачі даних link-16 – військового Wi – Fi НАТО, який забезпечує управління літаками, засобами інтегрованої протиповітряної та протиракетної оборони (Patriot), які надані в якості міжнародної військової допомоги.

Україна та НАТО підписали ліцензійну угоду на використання некомерційного програмного забезпечення — Системного інтерфейсу Центру управління й оповіщення (CRC System Interface, CSI) (рис.2) [6].

CSI використовують більшість країн НАТО, тому її впровадження забезпечить повну взаємосусність з союзниками. CSI дозволяє формувати єдину інтегровану картину бойової обстановки (Common Operational Picture) та координувати дії підрозділів усіх рівнів — від тактичного до оперативного. Система може працювати автономно в складі Центру управління й оповіщення (CRC) або бути інтегрована з додатковим програмним забезпеченням, таким як тренажери, аналітичні платформи чи інші модулі бойового управління.

Рисунок 2. Вигляд інтерфейсу центру управління й оповіщення.

Ключовими моментами являються заміна антенної системи та енергетичного забезпечення .

При необхідності оновлюється місійний комп’ютер і панель управління зв’язком у кабіні пілота.

Встановлення сучасних цифрових засобів зв'язку, сумісних із стандартами НАТО, забезпечить надійний обмін інформацією, підвищить безпеку пілотів та створить умови для інтеграції України у спільну систему оборони Альянсу.

Модернізація систем зв'язку літаків є реальним і необхідним шляхом підвищення ефективності виконання завдань Повітряних Сил України.

Список використаних джерел:

1. Харченко О.В., Пащенко С.В. Концептуальні засади подальшого розвитку авіації Збройних Сил України //Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. 2020. Вип. 16 (23) – С. 15–18.
2. Пятін І.С. Дослідження синхронізації цифрових систем зв'язку //Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. - №5. – С. 175-183
3. Бекіров А. Е., Баранік О. М., Парфило В. В. Метод прихованої передачі інформації в мовному повідомленні // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2019. № 2(60). С. 75-82.
4. А.Е. Бекіров , Є.І. Сидоренко , В.А. Чекмарьов , О.М. Смажелюк Інтеграція бортового обладнання повітряних суден в об`єднану систему розподілу тактичної інформації TADIL J/LINK 16 // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил.

//Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2022. № 1(46) – С. 7-13
5. STANAG 5516 Ed.4. Tactical Data Exchange - Link 16. [To replace STANAG 5516 Ed.3; valid from 2017-01-14]. The NATO Committee for Standardization, 2017. 96 p.
6. Дмитро Усик. Українські літаки F-16 та Mirage підключать до "військового Wi-Fi" НАТО https://24tv.ua/ukrayinski-litaki-f-16-mirage-pidklyuchat-do-viyskovogo-wi-fi_n2835615

Дігтярь Микола Миколайович *– старший викладач кафедри радіоелектронного обладнання літальних апаратів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків, вул.Сумська,77/79, інд. 61023 e-mail: info@hups.mil.gov.ua, ORCID https://orcid.org/0000-0001-9208-7593*

Жук Валентин Вікторович *– старший викладач кафедри радіоелектронного обладнання літальних апаратів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків, вул.Сумська,77/79, інд. 61023 e-mail: info@hups.mil.gov.ua, ORCID https://orcid.org/0000-0001-7850-3765*

Тамбовцев Анатолій Павлович *– викладач кафедри військово-технічної і військово- спеціальна підготовки Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків, вул.Сумська,77/79, інд. 61023 e-mail: info@hups.mil.gov.ua, ORCID https://orcid.org/0009-0000-3434-9735*

Коршенко Олександр Олександрович *– курсант Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків, вул.Сумська,77/79, інд. 61023 e-mail: info@hups.mil.gov.ua, https://orcid.org/0009-0002-2428-6333*

Digtyar Mikolay M. *– Senior Lecturer of the Department of Radioelectronic Equipment of AircraftIvan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv,e-mail: nikdeg1960@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001-9208-7593*

Zhuk Valentin V. *– Senior Lecturer of the Department of Radioelectronic Equipment of Aircraft,Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv, e-mail: valzhuk79@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001-7850-3765*

Tambovtsev Anatoliy P *– Lecturer of the Department of Military-Technical and Military- Special Training Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv, e-mail: valzhuk79@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0009-0000-3434-9735*

Korshenko Oleksandr O *– Cadet of the Department of Radioelectronic Equipment of AircraftIvan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv,e-mail: nikdeg1960@gmail.com, https://orcid.org/0009-0002-2428-6333*

УДК 621.396.967

Красноруцький А. О., Вишнівський Я. О., Матвєєва В. С.

ІНТЕГРАЦІЯ ЕЛЕКТРОНАГРІВАЧІВ РЕЗИСТИВНОГО ТИПУ ДО СКЛАДУ БПЛА BAYRAKTAR TB2 В ЯКОСТІ ПРОТИЗЛЕДЕНІЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Анотація. *На підставі аналізу сучасних підходів щодо використання безпілотних літальних апаратів Bayraktar TB2 під час ведення бойових дій в складних метеорологічних умовах, зокрема при низьких температурах та високій вологості, оцінюються можливості розробки способів, що сприятимуть підвищенню ефективності підготовки та експлуатації апарата.*

Ключові слова: *безпілотний літальний апарат, Bayraktar TB2, протизледенільна система, тонкоплівкові нагрівачі, аналітичні розрахунки, теплове моделювання.*

Based on an analysis of current approaches to the use of Bayraktar TB2 unmanned aerial vehicles during combat operations in difficult meteorological conditions, particularly at low temperatures and high humidity, the possibilities for developing methods that will contribute to improving the efficiency of the preparation and operation of the aircraft are assessed.

Key words: *unmanned aerial vehicle, Bayraktar TB2, anti-icing system, thin-film heaters, analytical calculations, thermal modeling.*

Повномасштабне вторгнення Росії в Україну стало потужним стимулом для розвитку вітчизняної оборонної промисловості, особливо в галузі безпілотної авіації. Сучасні бойові дії чітко виявили, наскільки важливим є ефективне застосування безпілотних літальних апаратів для виконання завдань з розвідки, коригування вогню та знищення цілей, навіть за складних погодних умов. Одним із критичних аспектів, що впливають на безперебійну та ефективну роботу БПЛА, є захист їхніх ключових конструктивних елементів від обмерзання. Утворення криги на поверхнях крила, корпусу чи гвинтової групи призводить до значного зменшення підйомної сили, збільшення ваги апарата, що може призвести до втрати контролю над ним та, як наслідок, до аварійних ситуацій.

Актуальність даної теми обумовлена необхідністю забезпечення надійного функціонування БПЛА в складних метеорологічних умовах, зокрема при низьких температурах та високій вологості. Існуючі системи протизледеніння, що застосовуються на пілотованих літальних апаратах, не можуть бути безпосередньо інтегровані у безпілотники через обмеження маси, енергоспоживання та конструктивних особливостей. Тому, постає потреба у створенні легкої, енергоефективної та технологічно сумісної системи протизледеніння, придатної для інтеграції в конструкцію апарата без зміни його аеродинамічного профілю.

Одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є використання резистивних електронагрівачів тонкоплівкового типу. Вони мають низку переваг:

– тонкоплівкова структура забезпечує однорідний нагрів поверхні, що сприяє ефективному видаленню або запобіганню утворенню льоду без утворення локальних “гарячих точок” і перегріву конструкційних елементів;

– надзвичайно мала товщина плівки дозволяє інтегрувати нагрівачі без зміни геометрії крила, що забезпечує збереження підйомної сили, аеродинамічного опору та керованості БПЛА;

– відсутність рухомих механічних елементів знижує ймовірність відмови системи, спрощує її монтаж, технічне обслуговування та експлуатацію в польових умовах;

– тонкоплівкові нагрівачі дозволяють локалізувати подачу тепла відповідно до зон утворення льоду, що зменшує енергоспоживання і оптимізує роботу системи;

– матеріали тонкоплівкових нагрівачів витримують широкий діапазон температур та високий рівень вологості, що робить їх придатними для застосування в екстремальних кліматичних умовах.

Для оцінки ефективності такого рішення проведено аналітичні розрахунки. Припустимо, що на поверхні крила утворився шар льоду товщиною 1,5 мм, а температура навколишнього середовища становить – 1 . Необхідна питома теплова потужність для видалення цього шару визначається як відношення тепла, необхідного для нагріву та плавлення льоду, до площі поверхні :

[Вт м²],

де Q – повна теплова енергія, що включає теплоту нагрівання льоду до °C та його теплоту плавлення. Розрахунки показали, що для зазначених умов потрібна питома теплова потужність:

$$6{,}2 \cdot 1^{\ 3}\ \text{Вт м}^2$$

Для реалізації цього нагріву використовується ніхромовий нагрівальний елемент з питомим опором 1,1 1 $^{-6}$ ·м, товщиною , 5 мм та напругою живлення 28 В. Щільність струму в нагрівальному елементі визначається як:

$$[\text{А мм}^2],$$

де – сила струму, а · – площа поперечного перерізу дроту або плівки. За розрахунками, щільність струму становить 25 мм^2, що забезпечує рівномірний тепловий потік.

Повна теплова потужність нагрівача на ділянці площі , 1м ^{2} визначається як:

$$\cdot\ ,$$

що дає 65Вт. Це означає, що навіть компактний нагрівач здатен ефективно видаляти лід товщиною 1,5 мм при –1 °C без шкоди для аеродинаміки крила.

Для підтвердження ефективності запропонованої протизледенільної системи проведено теплове моделювання, яке є комп'ютерною імітацією процесу нагріву поверхні крила БПЛА з урахуванням теплопровідності матеріалів, теплових втрат у навколишнє середовище, конвекції повітря та електричних характеристик нагрівачів. Теплове моделювання підтвердило, що інтеграція тонкоплівкових резистивних електронагрівачів у протизледенільну систему БПЛА Bayrak ar TB2 є ефективним і технічно обґрунтованим рішенням. Система забезпечує рівномірний нагрів поверхні крила з допустимим відхиленням ±4 °C, скорочує час видалення льоду товщиною 1,5 мм до 4 секунд та дозволяє знизити споживану потужність на 18 – 2 % порівняно зі стандартними системами. Це забезпечує надійну та стабільну роботу апарата у складних кліматичних умовах, підвищує енергоефективність і оперативність підготовки до бойового застосування.

Список використаних джерел:

1. Бабенко О. В., Ковальчук І. М. Сучасні системи протиобледеніння авіаційної техніки. – Київ: Наукова думка, 2 2 . – 256 с.
2. Березовський С. П. Безпілотні літальні апарати у сучасних бойових умовах. – Харків: ХНУПС, 2 19. – 184 с.
3. Голуб В. В., Литвиненко А. Ю. Аналіз впливу льоду на аеродинамічні характеристики крил БПЛА Авіаційна техніка та технології. – 2021. – № 15(2). – С. 45–53.
4. Лебедєв П. С. Теплове моделювання систем протиобледеніння БПЛА Журнал авіаційної науки. – 2022. – № 7(1). – С. 12–22.
5. Baykar Defence. Technical specifications and operational capabilities of Bayraktar TB2. – 2023. – Режим доступу: https://www.baykardefence.com.
6. National Research Council. Ice Protection Systems for Aircraft: Fundamentals and Design. – Washington, DC: The National Academies Press, 2016. – 320 p.
7. Zhang X., Li Y., Wang H. Thermal analysis and design of thin-film resistive heaters for UAV anti-icing applications // Applied Thermal Engineering. – 2019. – Vol. 160. – P. 114–123.
8. Kim S., Lee J. Numerical simulation of ice melting on aircraft wings using resistive heating // Aerospace Science and Technology. – 2020. – Vol. 102. – 105935.

Краснорyцький Андрій Олександрович – *кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету, e-mail: krasnorycki@ukr.net, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4318-2217, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, вулиця Динамівська 3а, м. Харків, 61023.*

Вишнівський Ян Олексійович – *професор кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету, e-mail: janvishnevski@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків,*

ORCID: https://orcid.org/0000-0009-4166-2334, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, вулиця Динамівська 3а, м. Харків, 61023.

Матвєєва Влада Сергіївна – *слухач 5 курсу інженерно-авіаційного факультету, e-mail: vlada161203@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, м. Харків, ORCID: https://orcid.org/0009-0005-6134-6720, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, вулиця Динамівська 3а, м. Харків, 61023.*

Krasnorutskyi Andriy Oleksandrovych *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Aviation Equipment of Airplanes and Helicopters, Faculty of Aviation Engineering, e-mail: krasnorycki@ukr.net, Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozhedub, Kharkiv, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4318-2217, Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozhedub, 3a Dynamivska Street, Kharkiv, 61023.*

Vyshnivskyi Yan Oleksiyovych *– Professor of the Department of Aviation Equipment of Airplanes and Helicopters, Faculty of Aviation Engineering, e-mail: janvishnevski@gmail.com, Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozhedub, Kharkiv, ORCID: https://orcid.org/0000-0009-4166-2334, Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozhedub, 3a Dynamivska Street, Kharkiv, 61023.*

Matveeva Vlada Sergiyevna *– 5th year student of the Faculty of Aviation Engineering, e-mail: vlada161203@gmail.com, Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozhedub, Kharkiv, ORCID: https://orcid.org/0009-0005-6134-6720, Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozhedub, 3a Dynamivska Street, Kharkiv, 61023.*

УДК 629.7.069

Доценко О. М., Крук Р. Р.

ВДОСКОНАЛЕННЯ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ ЛІТАКА-ВИНИЩУВАЧА СУ-27

Анотація. *У тезі розглянуто прицільно-навігаційний комплекс ПНК-10 літака Су-27, його склад, призначення, принцип роботи та обмеження. Обґрунтовано необхідність модернізації автономної навігаційної системи в умовах сучасного радіоелектронного протиборства. Запропоновано інтеграцію інерціальної навігаційної системи (ІНС) з фільтром Калмана та кореляційно-екстремальними методами. Наведено результати моделювання у MATLAB/Simulink, які демонструють зниження похибок та підвищення стійкості системи.*

Ключові слова: *ПНК-10; автономна навігація; інерціальна система; фільтр Калмана; Су-27.*

Abstract. *The thesis considers the PNK-10 navigation and targeting complex of the Su-27 fighter aircraft. Its structure, purpose, operating principles and limitations are presented. We substantiate the need to improve the autonomous navigation system under modern electronic warfare conditions. An approach is proposed to integrate the inertial navigation system with the Kalman filter and correlation-extremal methods. MATLAB/Simulink modeling results are provided, demonstrating improved accuracy.*

Keywords: *PNK- 10; autonomous navigation; inertial system; Kalman filter; Su- 27.*

Актуальність дослідження.

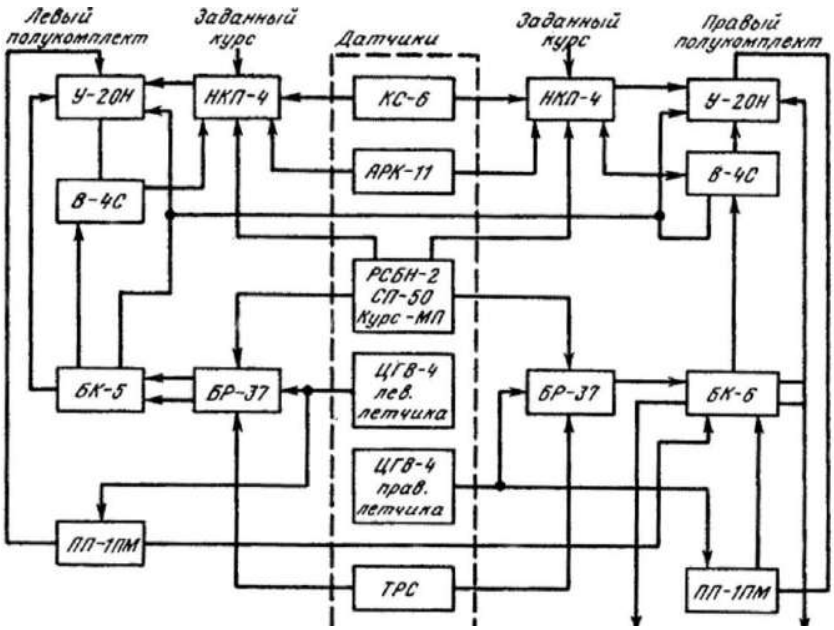
Сучасні бойові дії підтверджують, що ефективність виконання завдань винищувачами безпосередньо залежить від точності та надійності навігаційних систем. В умовах активного застосування засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) порушуються канали супутникової та радіонавігації. Для літаків покоління Су-27 це означає необхідність підвищення автономності. Важливо забезпечити можливість точного позиціонування навіть за повної відсутності сигналів зовнішніх систем. Автономна навігація є критично важливою для виконання бойових завдань на великих відстанях, у складних метеоумовах та при польотах на малих висотах. Модернізація ПНК-10 дозволяє зберегти боєздатність авіації в умовах сучасного конфлікту.

Метою дослідження є підвищення точності автономної навігації літака Су-27 на основі вдосконалення ПНК-10. Завдання дослідження включають:аналіз складу та можливостей ПНК-10;

– визначення обмежень та слабких місць комплексу;
– розробку алгоритму інтеграції ІНС із корекційними джерелами через фільтр Калмана;
– обґрунтування застосування кореляційно-екстремальних методів;
– проведення моделювання у MATLAB/Simulink для підтвердження ефективності. Кожне із зазначених завдань має вагоме значення, оскільки дозволяє поступово сформувати нову архітектуру системи.
–

ПНК-10: склад і призначення.

Рисунок 1 – Структурна схема ПНК-10



На рисунку показано складові елементи ПНК-10, які забезпечують навігаційні та прицільні функції літака.

Прицільно-навігаційний комплекс ПНК-10 є ключовим елементом авіоніки Су-27. До його складу входять інерціальна навігаційна система (гіроскопи та акселерометри), а також допоміжні радіонавігаційні засоби (АРК, РСБН). Важливим елементом є бортова цифрова обчислювальна машина, яка виконує інтеграцію даних і формує вихідну інформацію для пілота. Призначення комплексу полягає у забезпеченні автономного визначення координат, орієнтації літака, а також у видачі прицільно-навігаційних параметрів для ефективного застосування озброєння.

Обмеження базової схеми.

Основними обмеженнями є:

– накопичення похибок ІНС;
– уразливість радіонавігаційних засобів до глушіння;
– обмеженість обчислювальних ресурсів у старих модифікаціях.

У реальних бойових умовах це означає, що літак може втратити здатність до точногоприцілювання або орієнтування в просторі. Ці обмеження підтверджуються досвідом застосування авіації у сучасних локальних конфліктах.

Шляхи вдосконалення.

Рисунок 2 – Алгоритм інтеграції з фільтром Калмана

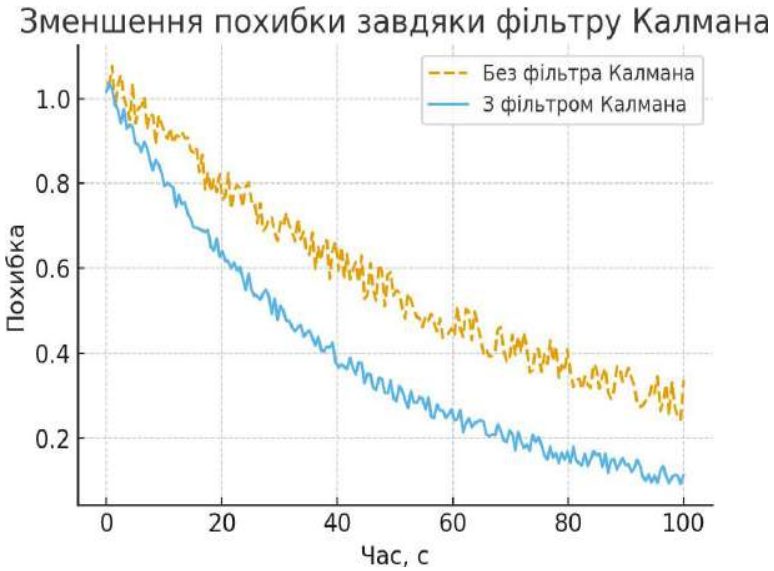
Алгоритм демонструє послідовність обробки даних ІНС та зовнішніх джерел з використанням фільтра Калмана.

Найперспективнішим шляхом є інтеграція ІНС з цифровими картами місцевості за допомогою кореляційно-екстремальних методів. Додатково застосовується фільтр Калмана, який дозволяє об’єднати дані з різних джерел та отримати оптимальну оцінку координат.

Таким чином, навіть у випадку втрати зовнішніх сигналів система зберігатиме високу точність. Очікується зниження похибки в 2–3 рази.

Результати моделювання.

Рисунок 3 – Зменшення похибки завдяки фільтру Калмана



Графік ілюструє, що застосування фільтра Калмана дозволяє суттєво знизити похибку навігації.

У MATLAB/Simulink було створено математичну модель, яка об’єднує ІНС, корекційні канали та фільтр Калмана. Було змодельовано різні профілі польоту – горизонтальний політ, маневрування та політ на малих висотах. Результати показали, що запропонована архітектура дозволяє зменшити накопичені похибки та стабілізувати роботу системи.

Зокрема, у порівнянні з базовим ПНК-10 середня похибка координат знизилася більш ніж удвічі.

Висновки

Проведене дослідження підтвердило, що вдосконалена автономна система навігації літака Су-27 забезпечує підвищену точність і стійкість. Інтеграція ІНС із фільтром Калмана та кореляційно-екстремальними методами довела свою ефективність у моделюванні.

Отримані результати мають практичну цінність для модернізації авіоніки літаків Су-27 та можуть бути використані під час розробки нових комплексів.

Список використаних джерел:

1. Авіоніка сучасних літаків. – К.: НАУ, 2020.
2. Системи навігації літальних апаратів / Під ред. Іванова І.І. – К.: НАУ, 2019.
3. MATLAB for Engineers. – Pearson, 2021.
4. Su-27 Aircraft Flight Manual. – Kyiv, 2015.
5. Приймак С. Навігаційні комплекси літаків. – Харків, 2017.

Доценко Олег Миколайович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email:oleg.dotsenko7@gmail.com*

Крук Роман Русланович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email:romanyil8558@icloud.com;*

Георгієв Юрій Вікторович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966.*

Dotsenko Oleg Mykolayovych *– Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, student of 262C training group, Kharkiv, Ukraine; email:oleg.dotsenko7@gmail.com*

Kruk Roman Ruslanovich *– Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, student of 262C training group, Kharkiv, Ukraine; email:romanyil8558@icloud.com;*

Georgiev Yuri Viktorovych *– Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, senior lecturer, department No. 203, Kharkiv, Ukraine; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966*

УДК 629.7.069

Петренко А. В., Іващенко А. Є., Зєнович О. Є.

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ БПЛА

Анотація:*в даній тезі розглянуто актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту системи автоматичного керування БпЛА.*

Abstract: *This thesis considers current problems of combat use and operation and repair of the automatic control system of UAVs.*

Ключові слова: *Безпілотний літальний апарат(БпЛА),системи автоматичного керування, радіоелектронна боротьба(РЕБ), експлуатація і ремонт.*

Keywords: *Unmanned aerial vehicles (UAVs), automatic control systems, electronic warfare (EW), operation and repair.*

У сучасних умовах ведення бойових дій безпілотні літальні апарати (БпЛА) стали ключовим елементом тактичної та стратегічної переваги. Особливу роль у забезпеченні ефективності їх використання відіграють системи автоматичного керування (САК), які дозволяють здійснювати автономну навігацію, виявлення цілей, ухилення від загроз та координацію в роях. Проте, попри стрімкий розвиток технологій, існує низка критичних проблем, що обмежують бойову ефективність БпЛА. Також це призводить до зниження ефективності експлуатації і ремонт в польових умовах.

Проблеми бойового застосування:

1. Уразливість до засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ)

• Заглушення GPS-сигналів та спуфінг призводять до втрати навігації.

• Перехоплення або блокування каналів зв’язку унеможливлює дистанційне керування.

• Відсутність захищених протоколів передачі даних підвищує ризик втрати апарата.

2. Обмежена автономність та адаптивність

• Більшість САК не здатні самостійно приймати рішення в умовах змінної бойової обстановки.

• Відсутність глибокої інтеграції з AI-модулями обмежує здатність до розпізнавання цілей, ухвалення рішень у реальному часі.

3. Проблеми координації в роях

• Відсутність уніфікованих протоколів взаємодії між БпЛА різних типів.

• Затримки в обміні даними ускладнюють синхронізацію дій у групових місіях.

4. Високі вимоги до операторів

• Навіть автоматизовані системи потребують висококваліфікованого персоналу для налаштування, моніторингу та втручання у критичних ситуаціях.

Найбільш критичними є уразливість до засобів радіоелектронної боротьби(РЕБ). Більшість САК покладаються на супутникову навігацію. У зоні активного РЕБ противник може глушити GPS-сигнали або підмінювати координати, змушуючи БпЛА втрачати орієнтацію або рухатися в неправильному напрямку. Автоматичне керування часто передбачає обмін даними з наземною станцією або іншими БпЛА. Заглушення радіоканалів призводить до втрати телеметрії, неможливості коригування маршруту або передачі відео. Відсутність шифрування або слабкі протоколи зв’язку дозволяють противнику перехоплювати управління, змінювати маршрут або навіть захоплювати апарат. У бойових умовах навіть короткочасна втрата зв’язку може призвести до втрати цілі, зіткнення з перешкодою або знищення апарата.

Не менщ важливим є вимоги до операторів які керують БпЛА. Оператор має розуміти принципи роботи САК, вміти втручатися у процес керування, діагностувати несправності та адаптувати сценарії. У бойових умовах оператори працюють під тиском, що може призвести до помилок у налаштуванні або втрати контролю. Також навчання операторів САК потребує часу, ресурсів і доступу до тренажерів, що не завжди можливо в умовах війни.

Проблема	Приклад	Наслідки
GPS-заглушення	БпЛА втрачали навігацію на Донеччині	Зниження точності ударів
Відсутність запчастин	Китайські дрони без доступних батарей	Виведення з експлуатації
Складність ремонту	Неможливість перепрошивки після пошкодження	Втрата апарата
Нестача кадрів	Недосвідчені оператори AI-модулів	Неефективне використання

Таблиця 1.1 – Основні приклади та їх наслідки в експлуатації Проблеми експлуатації та ремонту САК БпЛА:

1. Складність технічного обслуговування
• Висока складність електронних компонентів (сенсори, процесори, плати).
• Відсутність модульності ускладнює заміну окремих елементів.
2. Дефіцит запчастин
• Обмежений доступ до імпортних компонентів в умовах війни.
• Висока вартість та довгий термін постачання критичних елементів.
3. Низька ремонтопридатність у польових умовах
• Відсутність мобільних ремонтних станцій.
• Недостатня кількість фахівців з діагностики та перепрошивки САК.
4,Відсутність документації
• Багато БпЛА, особливо імпортні, не мають відкритого доступу до технічної документації та прошивок.

Системи автоматичного керування (САК) є ключовим елементом сучасних безпілотних літальних апаратів (БпЛА), забезпечуючи автономність, стабільність польоту, навігацію, ухвалення рішень та координацію в роях. У бойових умовах ефективна експлуатація та ремонт САК мають вирішальне значення для підтримання боєздатності підрозділів. Проте на практиці виникає низка проблем — технічних, логістичних, кадрових і організаційних — які суттєво ускладнюють обслуговування та відновлення цих систем.

Сучасні САК включають десятки взаємопов’язаних компонентів: GPS-модулі, гіроскопи, акселерометри, барометри, камери, LIDAR, тепловізори, AI-процесори. Високий рівень інтеграції означає, що вихід з ладу одного елемента може спричинити збій усієї системи. Багато БпЛА мають монолітну конструкцію, де компоненти інтегровані в єдину плату або корпус, що унеможливлює швидку заміну окремих елементів. Наприклад, заміна GPS-модуля може вимагати повного демонтажу апарата.

Для діагностики несправностей потрібні спеціалізовані інструменти: осцилографи, логічні аналізатори, програматори, стенди для калібрування. У польових умовах такі засоби часто недоступні, що ускладнює точну діагностику. Відсутність резервних систем або дублюючих сенсорів означає, що навіть незначна несправність може призвести до повної втрати апарата. Крім того, багато САК не мають функцій самодіагностики або журналів помилок, що ускладнює пошук причин збою.

Більшість високоточних компонентів САК постачаються з-за кордону — з США, Китаю, ЄС. У воєнний час або в умовах санкцій доступ до них обмежений або повністю заблокований. Це створює критичну залежність від імпорту. Вартість окремих модулів (наприклад, тепловізорів) може перевищувати вартість самого БпЛА, що робить ремонт економічно недоцільним. Часто дешевше виготовити новий апарат, ніж відновити пошкоджений.

Відсутність стандартизації між моделями БпЛА ускладнює логістику — кожен тип апарата потребує унікального набору запчастин. Це призводить до необхідності зберігання великої кількості

різних компонентів, що збільшує витрати та час на ремонт. В Україні лише кілька підприємств здатні виготовляти окремі компоненти САК, і більшість з них працюють на малих обсягах або не мають сертифікації для військового застосування.

У більшості бойових підрозділів відсутні мобільні ремонтні станції, а ремонт здійснюється в тилу, що затримує повернення апаратів у стрій. У польових умовах немає спеціалізованих майстерень з необхідним обладнанням. Комерційні або імпортні БпЛА часто не мають відкритого доступу до технічної документації, схем, прошивок, що унеможливлює глибокий ремонт або адаптацію системи під нові завдання.

У разі програмних збоїв потрібна перепрошивка, але в польових умовах немає доступу до оригінального програмного забезпечення або програматорів. Відсутність резервного ПЗ або можливості відновлення системи з резервної копії призводить до втрати апарата. Через обмежені умови ремонту БпЛА часто повертаються в стрій з частково усуненими несправностями, що призводить до повторних поломок.

Ремонт САК вимагає високої кваліфікації — знань з електроніки, програмування, авіаційної техніки, системного аналізу. Таких фахівців недостатньо, особливо в бойових підрозділах. Навчальні програми часто обмежуються теоретичними курсами без практики на реальних апаратах. Один технік може обслуговувати десятки БпЛА, що призводить до перевантаження, помилок і зниження якості обслуговування.

Відсутність єдиної системи сертифікації технічного персоналу призводить до різного рівня підготовки і якості ремонту. Крім того, техніки часто не мають доступу до актуальних оновлень ПЗ, схем або інструкцій, що ускладнює адаптацію до нових моделей БпЛА.

Приклади з практики:

• **Відсутність запчастин**: Китайські БпЛА, що активно використовуються в бойових діях, часто не мають доступних батарей, камер або GPS-модулів. Це призводить до повного виведення апаратів з експлуатації.

• **Складність ремонту**: Неможливість заміни окремих компонентів без повного демонтажу корпусу затримує ремонт на кілька днів.

• **Нестача кадрів**: Один технік у підрозділі може обслуговувати понад 30 апаратів, що негативно впливає на якість обслуговування.

• **Відсутність документації**: Комерційні дрони, закуплені для військових потреб, часто не мають схем або доступу до прошивок, що унеможливлює перепрошивку після збоїв.

• **Висока вартість компонентів**: Тепловізор або AI-модуль може коштувати більше, ніж сам корпус БпЛА, що змушує командирів списувати апарати замість ремонту.

Шляхами вирішення зазначених проблем є:

• Розробити модульні САК з можливістю швидкої заміни компонентів.

• Створити мобільні ремонтні станції з базовим набором інструментів для діагностики та перепрошивки.

• Розвивати локальне виробництво компонентів — сенсорів, контролерів, камер, плат.

• Впровадити відкриті протоколи та документацію для уніфікації ремонту та обслуговування.

• Підготувати технічний персонал через практичні курси, тренажери, сертифікацію.

• Формувати резерв запчастин на рівні підрозділів, з урахуванням типів БпЛА, що використовуються.

• Створити централізовану базу знань з інструкціями, схемами, оновленнями ПЗ для техніків.

Комплексне вирішення проблем експлуатації та ремонту САК дозволить підвищити бойову готовність БпЛА, зменшити втрати техніки та забезпечити стабільну роботу апаратів у найскладніших умовах сучасної війни.

Список використаних джерел:

1. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції ВНТУ «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія». – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 312 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/859

2. Бондаренко О. Оцінювання ефективності ударних БпЛА в умовах бойових дій / О. Бондаренко // Військова наука. – 2023. – № 2. – С. 45–52. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://themilitaryscience.com/index.php/journal/article/download/99/129

3. Ковальчук В. Проблеми керування безпілотними апаратами в умовах активного РЕБ / В. Ковальчук // Збірник наукових праць ВНТУ. – 2023. – № 1. – С. 88–94. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/35823

4. Забродський І. Система керування групи БпЛА з оптичним позиціюванням : магістерська дис. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 78 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/39504/1/Zabrodsky_magistr.pdf

5. Сидоренко М. Огляд методів автоматичного керування БпЛА / М. Сидоренко // Сучасні напрями розвитку науки. – 2023. – № 4. – С. 112–119. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/download/2822/2230

6. Defense Express. Технічні виклики у використанні дронів на фронті / Defense Express. – 2023. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://defence-ua.com

Петренко Антон Вадимович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email;antonpetrenko10@gmail.com;*

Іващенко Артем Євгенійович – *Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, слухач, Харків, Україна; email; 59871515gm@gmail.com*

Зєнович Олександр Євгенійович *– кандидат технічних наук, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І., доцент кафедри № 203, Харків, Україна; email: aezenovich@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9982-6274.*

Petrenko Anton Vadymovych *– Kharkivs'kyy natsional'nyy universytet Povitryanykh Syl im. I. Kozheduba, slukhach 262S navchal'noyi hrupy, Kharkiv, Ukrayina; email;antonpetrenko10@gmail.com;*

Ivashchenko Artem Yevheniyovych *– Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, student, Kharkiv, Ukraine; email; 59871515gm@gmail.com*

Oleksandr Evgeniyovych Zenovich *– Candidate of Technical Sciences, Kharkiv National Air Force University named after I., Associate Professor of Department No. 203, Kharkiv, Ukraine; email: aezenovich@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9982-6274.*

УДК 621.391

Васюта К. С., Сніцаренко В. В.

ВИПРАВЛЕННЯ ПОМИЛОК ПРИ ПЕРЕДАЧІ ЦИФРОВИХ ПОВІДОМЛЕНЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНИХ МЕТОДІВ

Анотація. *Доповідь присвячена особливостям розробки та функціонування цифрового режиму радіозв'язку FT8, перевагами якого є можливість застосування на дуже малих потужностях, з високою надійністю та при надзвичайно низькому співвідношенні сигнал/шум. Недоліками цифрового режиму радіозв'язку FT8 є: залежність від синхронізації, обмежена пропускна здатність та низька ефективність під час передачі довгих розмов.*

Ключові слова: *режим радіозв'язку, матриця Костаса, передача/отримання даних.*

Abstract. *The report is devoted to the features of the development and operation of the FT8 digital radio communication mode, the advantages of which are the possibility of using it at very low powers, with high reliability and with an extremely low signal-to-noise ratio. The disadvantages of the FT8 digital radio communication mode are: dependence on synchronization, limited bandwidth and low efficiency during the transmission of long conversations.*

Keywords: *radio mode, Costas matrix, data transmission and reception.*

Вступ

Цифрові потоки даних постійно передаються за допомогою комп'ютерів, мобільних телефонів, радіо та інших приладів. Пошук шляхів передачі та отримання сигналів кращої якості за мінімальних потреб триває безперервно [1-3].

Результатом багаторічних спроб вдосконалення способів передачі даних стала успішна розробка у 2001 році програмного забезпечення WSJT (weak signal communication by Joseph Tailor), тобто "зв'язок із застосуванням слабких сигналів від Джозефа Тейлора" [2]. Цей а стосунок в деякому сенсі здійснив революцію в любительському радіозв'язку. Програма дозволила багатьом користувачам з легкістю з'єднувати трансивери з комп'ютерами, та експериментувати з режимами слабких сигналів. Адже не всі мають можливість працювати в ефірі на великій потужності, чи використовувати потужні антени. Окрім того, в сучасних містах дуже багато джерел завад в радіодіапазоні.

На зображенні (рис. 1) представлено структуру програмного забезпечення WSJT, на якій горизонтальною шкалою позначено поточну частоту відносно опорної для даного діапазону, а вертикальною шкалою позначено час. Зелені лінії відслідковують 15с проміжки, на протязі яких йде або передача повідомлень або прослуховування та декодування. Самі повідомлення подано у вигляді блоків в кольорах жовтогарячої палітри. Чим більше потужність отриманого сигналу, тим червоніше блок.

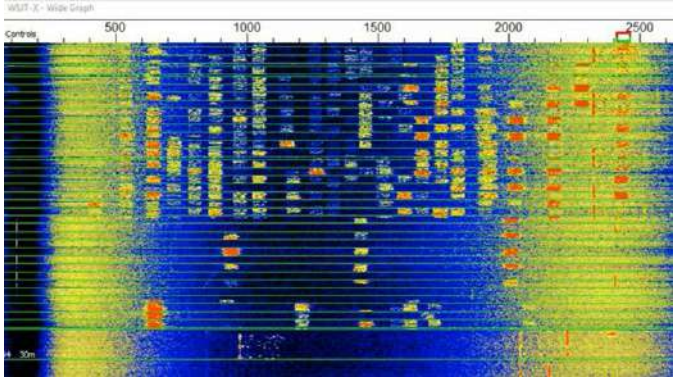


Рис. 1. Структура програмного забезпечення WSJT

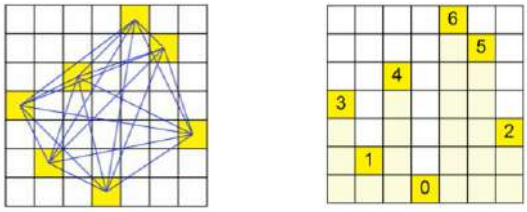
У 2012 році було розроблено програмне забезпечення WSJT-X [3], а у 2017 році – цифровий режим радіозв'язку FT8 [4].

Метою роботи є розгляд особливостей знаходження помилок передачі даних із застосуванням цифрового режиму радіозв'язку FT8.

Результати дослідження

FT8 – це скорочення, що означає частотну модуляцію з 8-ми значним зсувом від Франке та Тейлора. Розмір кожного значення обмежений 13-ма символами, та використовується 15 секундний цикл з 50Гц пропускної здатності. Спершу FT8 було створено Джо Тейлором та Стівом Франке для радіозв'язку, шляхом відображення від випадково виникаючого, чи як кажуть геофізики спорадичного "Е-шару" іоносфери, на діапазоні довжини хвилі 6м при відповідній частоті 50Гц, яку за основу використовують американські радіоаматори. Такий вид зв'язку передбачає довгострокове очікування відповідних умов поширення від іоносфери, та швидкої передачі коротких повідомлень.

Всі передачі FT8 містять однакові матриці Костаса, розміром 7×7 на початку, в середині та в кінці, як і в таблиці Судоку кожна позиція має значення від 0 до 7 та може використовуватись лише один раз (рис. 2а). Якщо провести лінію від кожного заповненого квадрату до всіх інших таких же квадратів, то виявиться, що жодні дві лінії не зможуть мати однакову довжину та кут нахилу. В масиві Костаса 7×7 існує 5040 можливих комбінацій, оскільки добуток всіх цілих чисел від 1 до 7 якраз дорівнює 5040. Але тільки 200 з таких комбінацій відповідають вимогам Костаса про унікальність проведених ліній. В усіх передачах FT8 використовується позиції 3;1;4;0;6;5;2, що виявляється допустимою матрицею Костаса (рис. 2б)



а) б)

Рис. 2. Ілюстрація до змісту матриці Костаса: а) пояснення до структури матриці; б) пояснення до значень матриці

Програмне забезпечення виявляє саме такі сигнали FT8, що починаються саме з таких матриць. Всі інші матриці Костаса, або інші дані відхиляються (рис. 3).

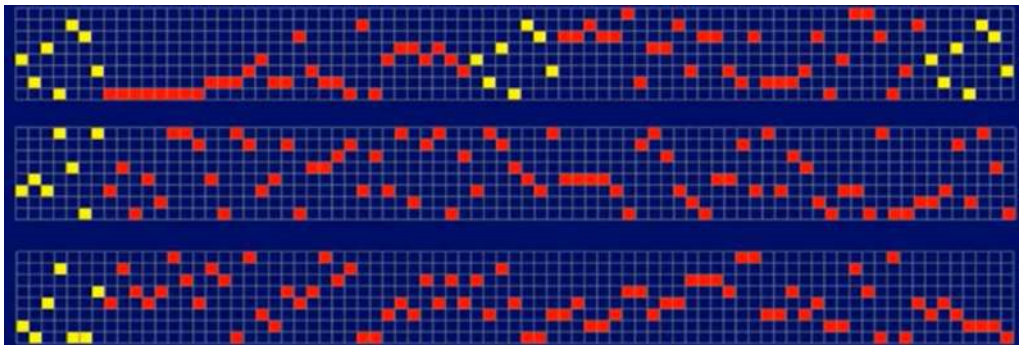


Рис. 3. Ілюстрація до функціонування режиму радіозв'язку FT8

Базові частоти FT8 складаються з восьми тонів. Кожен тон складається з трьох двійкових бітів. Час отримання кожного повідомлення FT8 відносно годин комп'ютера має бути в межах ±1с, для чого необхідно періодично синхронізувати годинник комп'ютера з точним всесвітнім часом UTS. Повідомлення FT8, з надмірно великим DT, важко декодувати.

У 1961 році математиком та вченим Веслі Петерсоном було створено основну концепцію перевірки отриманих цифрових повідомлень циклічним надмірним кодом (CRC−cyclic-redundancy-check). Це перевірочний код, який використовується в мережах

цифрового зв’язку для виявлення помилок даних, шляхом поділу одного многочлена на інший та подальшою оцінкою залишку, або перевірки його значення.

Така перевірка є частиною процесу кодування на передаючій стороні, та процесу декодування на приймаючій стороні. Код CRC забезпечує ступінь впевненості, в тому що отримані дані достовірні, в порівнянні з тими які були передані. Але не надає інформації які саме дані помилки були зроблені під час передачі/приймання повідомлення.

На прикладі (рис. 4) наведено двійкову послідовність, в якій відображено, що відправник та отримувач використовують один і той самий код CRC 101 із залишком 0, щоб указати не викривлені істині дані. Якщо залишок не дорівнює 0, то буде відомо про помилку даних але не можна її буде виявити.

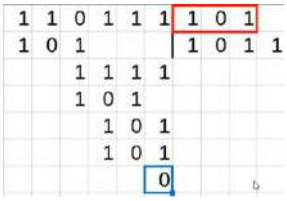


Рис. 4. Ілюстрація варіанта коду CRC

Для пошуку помилки використовується код з малою щільністю перевірок на парність (LDPS−low-densityparty-check-code) (рис. 5). Біти даних і парності в кожному колі мають давати 0, за правилам двійкового складання без переносу, чи так званої логічної операції виключності „або’’, тобто 0+0=0; 1+1=1; 1+1=0 без перенесення.

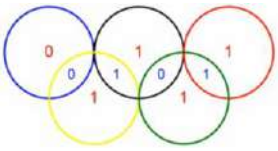
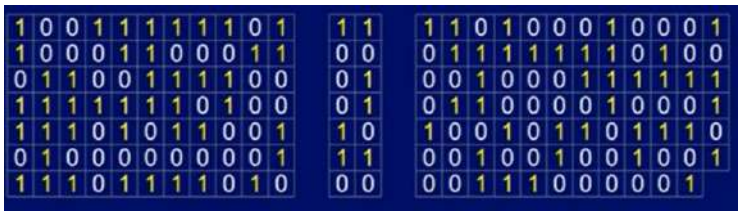


Рис. 5. Ілюстрація варіанта коду LDPS

Цей приклад відображає як біти даних та парності можуть використовуватись для виявлення місця розташування помилки, і з деякими обмеженнями вірогідності цієї помилки. Звичайно ж LDPS насправді набагато складніше ніж відображено на зображенні (рис. 4). Різновиди LDPS використовуються в багатьох протоколах цифрового зв’язку, включаючи стільниковий зв’язок 5G.

На зображенні (рис. 6) наведено кінцевий формат FT8. Всі повідомлення мають 77 інформаційні біти, 14 бітів коду CRC та 83 біти парності LDPC, всього 174 біти.



77 біт DATA | 14 біт CRC | 83 біти LDPC

Рис. 6. Кінцевий формат FT8

Вони видозмінюються в двійковий код Грея, та збираються в групи по 3, щоб отримати 58 тонів. Надалі до них додається 3 матриці Костаса по 7 тонів кожна, всього 21 тон, щоб визначити що це повідомлення відповідає протоколу FT8. Як результат маємо, що повідомлення складає 79 тонів, що еквівалентно 237 двійковим бітам (рис. 7).

Рис. 7. Повідомлення формату FT8

Таким чином, Джозеф Тейлор та Стів Франке дали можливість використовувати нове безкоштовне програмне забезпечення для радіоаматорів по всьому світу.

Висновки

Розглянуті особливості розробки та функціонування цифрового радіозв'язку FT8, встановлено перевагами, які дозволяють передавати цифрові повідомлення при малій потужності сигналу, з високою надійністю та при надзвичайно низькому співвідношенні сигнал/шум. В той же час виникає потреба удосконалення програмного методу FT8, а саме: усунення залежності від синхронізації, обмеження пропускної здатності та низької ефективності під час передачі довготривалих повідомлень.

Список використаних джерел:

1. Taylor J., Walker B. WSPRing Around the World. QST. Nov. 2010. P. 30–32.
2. Taylor J. Open Source WSJT: Status, Capabilities, and Future Evolution. 12th International EME Conference. 2006. P. 1–11. URL: https://web.archive.org/web/20221027181720/https://physics.princeton.edu//pulsar/K1JT/K1JT_eme2006.pdf (дата звернення: 20.10.2025).
3. Taylor J., Franke S., Sommerville B. Work the World with WSJT-X. Part 1: Operating Capabilities. QST. Oct. 2017. P. 30–36.
4. Hinson G. FT8 Operating Guide: Weak signal HF DXing for technophiles. Version 2.37. 2021. 84 p. URL: https://www.g4ifb.com/FT8_Hinson_tips_for_HF_DXers.pdf (дата звернення: 20.10.2025).

Васюта Костянтин Станіславович **–** доктор технічних наук, професор, заступник начальника університету з наукової роботи Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: kohafish@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0002-1978-3717.

Сніцаренко Віталій Вікторович **–** начальник науково-дослідного відділу (моделюючих та інформаційних систем Повітряних Сил) науково-дослідного управління (розвитку і застосування Повітряних Сил) наукового центру Повітряних Сил**,** м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: sniczarenko@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0002-7858-5534.

Kostiantyn Stanislavovych Vasiuta **–** Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Head of the University for Scientific Work of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: kohafish@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0002-1978-3717.

Vitalii Viktorovych Snitsarenko **–** Head of the Research Department (Air Force Modeling and Information Systems) of the Research Department (Air Force Development and Application) of the Air Force Research Center of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: sniczarenko@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0002-7858-5534.

УДК 624.15:624.04:004.942

Колесник А. В., Записов Д. В.

МОНІТОРИНГ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ФУНДАМЕНТІВ ТА НЕСУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ УКРИТТІВ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Анотація. *Представлено сучасні системи моніторингу стану бетонних фундаментів та несучих конструкцій. Розглянуто типи датчиків, методи збору, аналізу та інтерпретації даних, що забезпечують своєчасне виявлення дефектів і прогнозування стану конструкцій у реальному часі. Показано перспективи впровадження інтелектуальних систем моніторингу для підвищення надійності укриттів у складних умовах експлуатації.*

Ключові слова: *моніторинг, фундамент, несучі конструкції, бетонні укриття, прогнозування стану.*

Abstracts. *Modern systems for monitoring the condition of concrete foundations and load-bearing structures are presented. Types of sensors, methods of data collection, analysis and interpretation are considered, which ensure timely detection of defects and real-time prediction of the condition of structures. The prospects for the implementation of intelligent monitoring systems to improve the reliability of shelters in difficult operating conditions are shown.*

Keywords: *monitoring, foundation, load-bearing structures, concrete shelters, condition prediction.*

Вступ

У сучасних умовах воєнного стану та зростання ризиків надзвичайних ситуацій особливого значення набуває забезпечення надійності захисних споруд цивільного захисту — укриттів, сховищ та командних пунктів. Їхня ефективність значною мірою залежить від технічного стану фундаментів і несучих конструкцій, які сприймають основні навантаження [1].

Традиційні методи періодичного обстеження споруд не завжди дозволяють виявити приховані дефекти або динамічні зміни стану конструкцій. Тому все більшого поширення набувають системи безперервного моніторингу у реальному часі, здатні забезпечити автоматичний контроль параметрів і прогнозування можливих відмов [2].

Основна частина

Сучасні системи моніторингу стану бетонних фундаментів і несучих елементів базуються на поєднанні датчиків різних типів, мікропроцесорних контролерів, засобів передачі даних і програмно-аналітичних комплексів. До основних компонентів таких систем належать:

- тензометричні датчики – для вимірювання деформацій та напружень у бетоні та арматурі;
- ультразвукові сенсори – для контролю цілісності матеріалу та виявлення внутрішніх дефектів;
- акселерометри та вібродатчики – для аналізу динамічної реакції конструкцій;
- датчики вологості й температури – для оцінки умов експлуатації та впливу навколишнього середовища;
- інклінометри – для фіксації зсувів і осідань фундаменту.

Зібрані дані передаються через бездротові канали (GSM, NB-IoT, LoRaWAN) до центрального сервера, де вони обробляються у спеціалізованих програмних середовищах (SCADA, IoT-платформи) [3].

Система моніторингу функціонує на основі принципів розподілених сенсорних мереж, де кожен вузол виконує локальні вимірювання, а потім надсилає дані для узагальнення. Серед сучасних аналітичних інструментів особливе місце займають:

- методи машинного навчання – для автоматичного виявлення відхилень від нормального режиму роботи конструкцій [4];
- методи кореляційного аналізу – для виявлення взаємозв'язків між температурними, вологісними і деформаційними процесами;
- цифрові двійники споруд – 3D-моделі, що відображають реальний стан об'єкта й оновлюються на основі поточних даних моніторингу.

Такі технології дозволяють не лише виявляти пошкодження, а й прогнозувати подальший розвиток дефектів та оцінювати залишковий ресурс конструкції.

Моделі прогнозування ґрунтуються на аналізі часових рядів параметрів (деформації, напруження, вологості, температури). Для цього застосовуються алгоритми регресійного аналізу, нейронні мережі та байєсівські методи [5]. Наприклад, нейронні мережі типу LSTM (Long Short-Term Memory) здатні враховувати попередні зміни параметрів і робити довгострокові прогнози щодо стабільності конструкції.

Отримані в процесі моніторингу дані дозволяють виявляти тенденції зміни фізико-механічних характеристик матеріалів і передбачати розвиток потенційно небезпечних процесів.

Для побудови прогностичних моделей використовуються сучасні аналітичні підходи, зокрема регресійний аналіз, нейронні мережі та байєсівські методи. Регресійні моделі дають змогу визначити кількісні залежності між параметрами та станом конструкцій. Алгоритми машинного навчання, зокрема глибинні нейронні мережі, забезпечують можливість виявлення прихованих закономірностей і складних нелінійних зв'язків у даних. Байєсівські методи, у свою чергу, дозволяють оцінювати ймовірність появи пошкоджень і невизначеність прогнозу.

Застосування таких моделей дає можливість здійснювати раннє попередження про деградацію матеріалів, планувати технічне обслуговування та підвищувати надійність споруд. У результаті створюється основа для формування інтелектуальних систем управління технічним станом фундаментів і несучих конструкцій у реальному часі.

Таким чином, такі підходи забезпечують раннє виявлення критичних змін і підвищують рівень безпеки укриттів, особливо при тривалій експлуатації або впливі динамічних навантажень.

Впровадження систем моніторингу у реальному часі дозволяє:

- мінімізувати ризики аварій та руйнувань;
- підвищити ефективність планування технічного обслуговування;
- зменшити витрати на обстеження та ремонти;
- створити базу даних для розроблення стандартів технічної безпеки захисних

споруд.

Перспективним напрямом є інтеграція систем моніторингу фундаментів та несучих конструкцій у єдину платформу ―розумного укриття", яка поєднуватиме сенсори стану, системи життєзабезпечення, вентиляції та енергозабезпечення.

Висновки

Моніторинг і прогнозування стану фундаментів та несучих елементів укриттів у реальному часі є невід'ємним елементом сучасної системи технічної безпеки [6]. Застосування сенсорних технологій, цифрових двійників та алгоритмів штучного інтелекту забезпечує своєчасне виявлення дефектів, підвищує надійність і продовжує термін експлуатації конструкцій. Подальший розвиток напрямку пов'язаний із стандартизацією методів моніторингу та створенням національних баз даних технічного стану споруд.

Список використаних джерел:

1. Богаченко С. В. Моніторинг технічного стану будівельних конструкцій / С. В. Богаченко ; наук. керівники : С. В. Шатов. А. О. Титюк // Матеріали III наук.-практ. конф. студ.

ПДАБА, (26 квітня 2021 р., Дніпро) : зб. тез. – Дніпро : ПДАБА, 2021. – С. 93-95. http://srd.pdaba.edu.ua:8080/handle/123456789/9434

2. ISO 13374-1:2019. Condition monitoring and diagnostics of machines — Data processing, communication and presentation.

3. Dutta, S., Ghosh, A. IoT-based structural health monitoring systems: A review. Sensors, 2022, 22(15): 5678.

4. Kaloop, M. R., Li, H. Structural health monitoring using artificial intelligence methods: A review. Automation in Construction, 2021.

5. Zonta, D., Glisic, B., Adriaenssens, S. Value of information in monitoring structural systems. Structural Control and Health Monitoring, 2019.

6. ДСТУ 9273:2024 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. / Технічний комітет стандартизації «Будтехнології» (ТК 309), Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва»./ наказ Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») від 09 січня 2024 р. № 11 з 2024-09-01.

Колесник Андрій Вікторович **–** аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

Записов Дмитро Васильович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: dzapicov@gmail.com.

Kolesnik Andrii V. **–** PhD student of the Department of Civil Engineering, Municipal Economy and Architecture; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

Dmitry Zapysov V. **–** PhD student of the Department of Civil Engineering, Municipal Economy and Architecture; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: dzapicov@gmail.com.

УДК 624.012.45:725.38:351.86

Колесник А. В.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ БЕТОННИХ УКРИТТІВ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

Анотація. *Розглянуто новітні методики проектування бетонних укриттів подвійного призначення для захисту цивільного населення та військових об'єктів. Проаналізовано сучасні стандарти міцності, стійкості до динамічних навантажень і вимоги до життєзабезпечення. Описано конструктивні, архітектурні та технологічні рішення, що забезпечують ефективне поєднання функцій цивільного використання та захисних властивостей у кризових умовах. Наведено приклади впровадження таких об'єктів у практику містобудування та оборонного будівництва.*

Ключові слова: *бетонні укриття, цивільний захист, фортифікація, проектування, подвійне призначення.*

Abstracts. *The latest methods for designing dual-purpose concrete shelters for the protection of civilians and military facilities are considered. Modern standards of strength, resistance to dynamic loads and life support requirements are analysed. The structural, architectural and technological solutions that ensure an effective combination of civil use and protective properties in crisis conditions are described. Examples of the implementation of such facilities in urban planning and defence construction are given.*

Keywords: *concrete shelters, civil defence, fortification, design, dual purpose.*

Вступ

В умовах зростання техногенних і воєнних загроз особливого значення набуває створення укриттів подвійного призначення, здатних виконувати як повсякденні цивільні функції, так і завдання цивільного захисту у разі надзвичайних ситуацій. Сучасні підходи до проектування таких об'єктів базуються на інтеграції інженерно-будівельних, архітектурних і оборонно-технічних рішень[1].

Основна частина

Проектування бетонних укриттів подвійного призначення здійснюється відповідно до чинних будівельних норм України (ДБН В.2.2-5:2023, ДБН В.1.2-14:2018, ДСТУ Б В.2.7-43:2021) та міжнародних рекомендацій щодо захисних споруд. Вимоги до стійкості, міцності та герметичності визначаються класом захисту та передбачуваними навантаженнями. Особлива увага приділяється енергоефективності, вентиляції, акустичній ізоляції, а також забезпеченню умов комфортного перебування людей у мирний час [2,3].

Основним матеріалом є залізобетон, що забезпечує високу несучу здатність і довговічність [4]. Для підвищення стійкості до вибухових та ударних навантажень застосовують фібробетони, армування високоміцною арматурою, а також багатошарові конструкції із внутрішніми амортизувальними прошарками.

Фібробетон — це композиційний матеріал, армований короткими волокнами (сталевими, базальтовими, полімерними або скляними), рівномірно розподіленими в об'ємі. Таке мікроармування підвищує:

- ударну в'язкість і енергоємність;
- стійкість до розповсюдження тріщин;
- адгезію між цементною матрицею та заповнювачами.

Дослідження показують, що використання сталевої фібри збільшує граничну міцність бетону при динамічних навантаженнях на 25–40 %, а залишкову деформаційну здатність — у 2–3 рази.

Високоміцна арматура класів А1000–А1200 дозволяє значно підвищити граничну напругу, при якій відбувається руйнування елемента. Така арматура характеризується підвищеним модулем пружності та стійкістю до повторних динамічних впливів.

Застосування попередньо напружених елементів дає змогу створювати системи, здатні поглинати частину енергії вибуху за рахунок пружних деформацій, що особливо актуально для перекриттів і купольних споруд укриттів [5].

Одним із найефективніших рішень є використання багатошарових систем, у яких між основними шарами бетону розміщуються амортизувальні прошарки з полімерних або еластомерних матеріалів. Такі прошарки виконують функцію енергопоглинаючих елементів, що зменшують пікові напруження, розсіюють енергію вибуху та знижують ризик утворення тріщин. Випробування показали, що введення шару товщиною 10–20 мм із матеріалу типу поліуретану або ПВХ-піни зменшує передану енергію удару на 30–50 %.

Максимальний ефект досягається при поєднанні фібробетону, високоміцного армування і багатошарової структури. Такі системи забезпечують:

- підвищену пластичність і енергоємність;
- зменшення ризику крихкого руйнування;
- довговічність і тріщиностійкість при багаторазових динамічних впливах.

Додатково застосовуються зовнішні армувальні обгортки з вуглепластика (CFRP), що значно підвищують несучу здатність без істотного збільшення маси конструкції.

Фундаменти та несучі стіни виконуються з урахуванням нерівномірних осідань і гідроізоляційних вимог.

Сучасна концепція передбачає універсальність простору: укриття можуть функціонувати як підземні паркінги, складські або технічні приміщення у мирний час і швидко трансформуватись у захисні об’єкти при надзвичайних ситуаціях. В архітектурному аспекті важливо забезпечити ефективні евакуаційні виходи, системи вентиляції, резервне освітлення, автономне водопостачання та санітарно-технічні вузли [6,7].

Для оптимізації процесів проектування активно використовуються BIM-технології, що дозволяють моделювати конструктивні елементи з урахуванням навантажень, мікроклімату та сценаріїв експлуатації. Системи моніторингу в реальному часі (датчики деформацій, температури, вологості) забезпечують контроль стану конструкцій протягом усього життєвого циклу об’єкта. Прогнозування можливих ушкоджень здійснюється з використанням машинного навчання.

В Україні активно впроваджуються пілотні проєкти з будівництва укриттів подвійного призначення у громадських будівлях, навчальних закладах і транспортній інфраструктурі [8,9]. В європейських країнах подібні рішення інтегруються у міське середовище у вигляді підземних паркінгів, торгових центрів і спортивних споруд.

Висновки

1. Проектування бетонних укриттів подвійного призначення є одним із ключових напрямів сучасного цивільного захисту.
2. Використання інноваційних матеріалів і цифрових технологій підвищує ефективність, надійність та довговічність захисних споруд.
3. Поєднання цивільних і оборонних функцій забезпечує економічну доцільність і комплексну безпеку міського середовища.

Список використаних джерел:

1. Збірник наукових розробок планувальних та конструктивних рішень споруд цивільного захисту: монографія / А. Гасенко, О. Довженко, В. Погрібний, О. Семко, О. Філоненко, О. Юрін; за ред. О. Філоненко. - Полтава: ПП «Астрая», 2023. - 205 с.

2. ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту». – Київ: Мінрегіон України, 2023.

3. ДСТУ Б В.2.7-43:2021 «Бетони. Загальні технічні вимоги». – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2021.

4. Колесник А.В., Томчук М.А., Томчук М.М. Особливості влаштування захисних споруд в умовах військового часу. [Електронний ресурс] / А.В. Колесник, М.А. Томчук / Міжнародно науково-практична інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців. Молодь в науці: дослідження, пробле-ми, перспективи (МН-2024) (2024) Вінниця, ВНТУ.

Режим доступу: https://confere nces.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/21538.

5. ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів».

6. ISO 13822:2010 «Bases for design of structures — Assessment of existing structures».

7. Klymenko O., et al. ―Innovative Approaches in Design of Civil Defense Shelters." Civil and Environmental Engineering Journal, 2022.

Режим доступу: https://jrnl.nau.edu.ua/index.php/Design/article/view/17220

8. Семироз, Н. 2022. Дизайн інтер'єру скритищ цивільної оборони. Теорія та практика дизайну . 26 (грудень 2022), 210–215. DOI: https://doi.org/10.32782/2415-8151.2022.26.25.

9. Колесник А. В., Записов Д. В., Терещенко О. П.. Способи підвищення надійності та комфортності укриттів для особового складу на основі досвіду військових дій» Міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту», секція: Проблеми проектування, виготовлення та експлуатації озброєння, Вінниця, 3-5 червня 2025 р. – Електрон. текст. дані. – 2025. https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/prmt/pmrt2025/paper/view/24919/20599

Колесник Андрій Вікторович **–** аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

Kolesnik Andrii V. **–** PhD student of the Department of Civil Engineering, Municipal Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

УДК 615.014.3:355.4

Колесник А. В., Домненко М. Г.

КУРС ТЕОРЕТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ З ДОМЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ ЯК ОДНІЄЇ З КЛЮЧОВИХ ДИСЦИПЛІН БЗВП

Анотація. *У тезі розглядається значення курсу теоретичної підготовки з домедичної допомоги як невід'ємної складової базової загальновійськової підготовки. Окреслено основні цілі та завдання курсу, його роль у формуванні навичок надання першої медичної допомоги у бойових умовах, а також взаємозв'язок із іншими дисциплінами загальновійськової підготовки. Показано методи викладання теоретичних аспектів домедичної допомоги та підкреслено важливість інтеграції знань з практичними заняттями для підвищення ефективності підготовки військовослужбовців.*

Ключові слова: *домедична допомога, базова загальновійськова підготовка, перша медична допомога, навчальні курси, тактична медицина.*

Abstracts. *The thesis examines the importance of theoretical training in pre-medical care as an integral part of basic military training. It outlines the main goals and objectives of the course, its role in developing first aid skills in combat conditions, and its relationship with other disciplines of military training. Methods of teaching the theoretical aspects of pre-medical care are presented, and the importance of integrating knowledge with practical training to improve the effectiveness of military personnel training is emphasised.*

Keywords: *pre-medical care, basic general military training, first aid, training courses, tactical medicine.*

Вступ

Базова загальновійськова підготовка спрямована на формування у військовослужбовців комплексних знань і навичок, необхідних для виконання завдань у бойових умовах. Одним із ключових елементів цієї підготовки є домедична допомога, яка забезпечує виживання особового складу на полі бою та підвищує ефективність військових операцій.

Курс теоретичної підготовки з домедичної допомоги формує у слухачів базові знання про структуру людського тіла, принципи функціонування життєво важливих систем, методи надання першої допомоги при травмах, кровотечах, шокових станах та інших невідкладних ситуаціях.

Основна частина

Домедична допомога — це не лише набір практичних навичок. Вона ґрунтується на чітких теоретичних знаннях із анатомії, фізіології, механізмів травмування, класифікації поранень і принципів стабілізації стану потерпілих. Тому курс теоретичної підготовки з домедичної допомоги є невід'ємною складовою базової загальновійськової підготовки.

Метою вивчення тем у рамках курсу теоретичної підготовки у закладі освіти є формування у здобувачів освіти компетентностей, необхідних для надання домедичної допомоги при пораненнях та травмах під час виконання службових або бойових завдань.

За результатами опанування тем здобувачі освіти повинні мати знання з [1]:

- алгоритм надання домедичної допомоги на етапі «допомога під вогнем/під загрозою» (Care under fire/Threat, CUF);
- методи та способи евакуації поранених;

- принципи та особливості надання допомоги в польових умовах (Tactical Field Care, TFC).

За результатами здобутих знань вміти [1]:

- проводити евакуацію потерпілого одним рятувальником різними способами: за лямки, під пахви, за пасок, а також за модифікованим методом пожежника;

- здійснювати евакуацію потерпілого двома рятувальниками: за лямки, під пахви, за пасок і за шию;

- надавати першу допомогу при пораненнях, кровотечах, отруєннях та інших бойових ураженнях із використанням аптечки медичної індивідуальної (АМЗІ) та табельних засобів;

- готувати та організовувати медичну евакуацію;

- оглядати потерпілого для виявлення масивних кровотеч у тактичних умовах;

- перевіряти прохідність дихальних шляхів.

Курс теоретичної підготовки з домедичної допомоги формує базові уявлення про порядок дій під час поранень, травм, опіків, отруєнь, зупинки кровотечі, накладання турнікетів, забезпечення прохідності дихальних шляхів. Ці знання є основою для відпрацювання практичних навичок у полігонних або бойових умовах [2, 3].

Важливою складовою є розуміння принципів тактичної медицини (Tactical Combat Casualty Care, TCCC), які передбачають розподіл дій за етапами: під вогнем (Care Under Fire), у тактичній зоні (Tactical Field Care), під час евакуації (Tactical Evacuation Care). Теоретична підготовка дає змогу військовослужбовцю швидко орієнтуватися у ситуації, розпізнавати тип ураження, визначати послідовність допомоги, уникати типових помилок [4].

Ефективність засвоєння матеріалу залежить від поєднання традиційних лекцій із сучасними інтерактивними методами: мультимедійними симуляціями, відеокейсами, віртуальними тренажерами. У військових вишах України активно впроваджуються навчальні програми, адаптовані до стандартів NATO Combat Lifesaver (CLS) [1].

Теоретичний курс доцільно структурувати за такими розділами: основи анатомії та фізіології людини, механізми бойових уражень, алгоритми дій при критичних станах, основи контролю кровотеч і шоку, евакуація поранених, психологічна стійкість у надзвичайних ситуаціях.

Значна увага має приділятися практичному закріпленню знань — коротким тестам, груповим аналізам ситуацій, обговоренню бойових кейсів.

Курс домедичної допомоги тісно пов’язаний із дисциплінами фізичної, інженерної, тактичної та вогневої підготовки. Наприклад, під час занять з тактики моделюються умови реального бою, де поранення відбуваються під час виконання завдань; у курсах інженерної підготовки розглядаються мінно-вибухові травми, а у вогневій — наслідки кульових уражень [5, 6].

Таким чином, теоретична підготовка з домедичної допомоги є міждисциплінарною та сприяє розвитку комплексного підходу до виживання і взаємодопомоги у бойових умовах [7].

Доцільним є впровадження єдиної стандартизованої програми для всіх закладів військової освіти України, що базувалася б на сучасних міжнародних протоколах (TCCC, PHTLS, MARCH). Також важливо забезпечити електронну підтримку курсу — створення навчальної платформи з інтерактивними лекціями, відеоінструкціями та тестами.

Серед перспективних напрямів розвитку: використання VR/AR-технологій для моделювання ситуацій; впровадження систем оцінювання компетентностей; співпраця з інструкторами НАТО та медиками, які мають бойовий досвід; розробка польових довідників з теоретичними алгоритмами дій.

Висновки

Курс теоретичної підготовки з домедичної допомоги є однією з ключових дисциплін базової загальновійськової підготовки, оскільки забезпечує формування у військовослужбовців знань, необхідних для збереження життя у критичних умовах. Від ефективності викладання теоретичного матеріалу залежить якість практичного виконання дій з порятунку поранених.

Впровадження сучасних педагогічних технологій, адаптація міжнародних стандартів і розвиток цифрових ресурсів сприятимуть підвищенню рівня бойової готовності та медичної грамотності особового складу Збройних Сил України.

Список використаних джерел:

1. Міністерство освіти і науки України. Типова програма навчальної дисципліни «Базова загальновійськова підготовка». Затверджено 24.02.2025. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/2025/02/24/typova-prohrama-navch-dystsypliny-bzvp-vo-24-02-2025.pdf

2. Міністерство освіти і науки України. Програма навчальної дисципліни «Теоретична підготовка базової загальновійськової підготовки». URL: https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/files/Syllabus_Teoretychna-pidhotovka-bazovoi-zahalnoviiskovoi-pidhotovky_denna_25-26.pdf

3. Національний юридичний університет імені Ярослава Мудрого. Робоча програма навчальної дисципліни «Бойова система виживання воїнів (у тому числі тактична медицина)». Харків: Нац. юрид. ун-т імені Ярослава Мудрого, 2022. URL: https://nlu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/ok1.1.8.rpnd_bojova-systema-vyzhyvannya-voyiniv-u-tomu-chysli-taktychna-medyczyna.pdf

4. Міністерство охорони здоров'я України. Курс тактичної медицини «Tactical Combat Casualty Care» (TCCC). URL: https://tccc.org.ua/

5. Науково-практичний центр «ЮНІТ». Навчання з тактичної медицини для військових та цивільних осіб. URL: http://www.unit.org.ua/

6. Міністерство освіти і науки України. Програма навчальної дисципліни «Теоретична підготовка базової загальновійськової підготовки» для здобувачів вищої освіти.
URL: https://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/wp-content/uploads/sites/43/2025/09/PROGRAMA-BZVP-2025.pdf

7.Міністерство освіти і науки України. Програма навчальної дисципліни «Теоретична підготовка базової загальновійськової підготовки» для здобувачів вищої освіти. URL: https://onmedu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/04/VK-BZVP-Bazova-zagalnovijskova-pidgotovka.pdf

Колесник Андрій Вікторович – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

Домненко Микола Григорович – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mikoladomnenko568@gmail.com.

Kolesnik Andrii V. – lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

Mykola Domnenko G. – lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mikoladomnenko568@gmail.com.

УДК 624.012.45:620.193:699.8

Колесник А. В., Дубенчак О. О.

ДЕФЕКТИ ТА РУЙНУВАННЯ БЕТОННИХ УКРИТТІВ: ПРИЧИНИ ТА МЕТОДИ ЗАПОБІГАННЯ

Анотація. *Аналізуються типові дефекти бетонних укриттів, такі як тріщини, руйнування від корозії та усталих навантажень. Пропонуються превентивні методи контролю та зміцнення конструкцій.*

Ключові слова: *дефекти, руйнування, бетонні укриття, корозія, превентивні методи.*

Abstracts. *Typical defects in concrete shelters, such as cracks, corrosion damage and fatigue damage, are analysed. Preventive methods for monitoring and strengthening structures are proposed.*

Keywords: *defects, damage, concrete shelters, corrosion, preventive methods.*

Вступ

Бетонні укриття є важливим елементом системи цивільного захисту, забезпечуючи безпечне перебування людей під час дії вибухових, ударних або інших руйнівних факторів. Довговічність та надійність таких споруд залежать від якості матеріалів, технології зведення, умов експлуатації та ефективності технічного обслуговування. Проте з часом у конструкціях виникають дефекти, що знижують їхню стійкість і несучу здатність.

Основна частина

Бетонні укриття, як і будь-які інженерні споруди, у процесі експлуатації піддаються впливу численних факторів, що призводять до виникнення дефектів. Розуміння їхніх типів і механізмів утворення є основою для розробки ефективних методів діагностики та запобігання руйнуванню конструкцій [1, 2].

Тріщини — найпоширеніший тип дефектів, що порушує монолітність конструкції, сприяє проникненню вологи, агресивних речовин і розвитку корозії арматури. Основні види тріщин:

- усадкові тріщини — виникають при висиханні або неправильному догляді за бетоном у період твердіння;
- температурні тріщини — спричинені різницею температур між зовнішніми та внутрішніми шарами конструкції;
- тріщини від навантаження — з’являються при перевищенні розрахункових напружень;
- корозійно-механічні тріщини — формуються внаслідок розширення арматури при корозії.

Корозія арматурної сталі є однією з головних причин втрати несучої здатності бетонних укриттів. Процес відбувається через проникнення вологи, кисню або хлоридів до арматури. Продукти корозії мають більший об’єм, ніж початковий метал, тому вони створюють внутрішні напруження, які призводять до розтріскування та відшарування захисного шару бетону [3].

Відшарування поверхні бетону або утворення вибоїн спостерігається у випадках циклічного заморожування–відтавання, дії вологи, механічних ударів чи вибухових хвиль. Такі дефекти знижують товщину захисного шару та прискорюють руйнування внутрішніх елементів конструкції.

Тривала дія агресивного середовища (кислотні дощі, солі, CO_2, сірчисті сполуки) викликає карбонізацію бетону, розчинення цементного каменю та втрату міцності. У підземних укриттях можливий також сульфатний розклад, який супроводжується утворенням тріщин і розширенням структури матеріалу.

Деформаційні дефекти можуть бути результатом нерівномірного осідання фундаментів, помилок у проєктуванні або змін вологості ґрунтів. Це проявляється у вигляді нахилів, прогинів і розкриття тріщин у стінах та перекриттях.

У багатьох збірних укриттях місця стиків є слабкими зонами. Недостатня герметизація швів призводить до проникнення вологи, появи висолів, а згодом — до корозії арматури та руйнування бетону в зоні з'єднань.

Для оцінки технічного стану бетонних укриттів важливо не лише ідентифікувати типи дефектів, але й визначити ступінь їхньої небезпеки для подальшої експлуатації споруди [4]. Залежно від масштабів пошкодження, впливу на несучу здатність та можливості розвитку руйнування дефекти поділяють на три основні категорії

Перша, це: незначні дефекти. До цієї групи належать ушкодження, які не впливають суттєво на міцність і стійкість споруди, проте потребують спостереження та своєчасного усунення. Приклади: поверхневі мікротріщини шириною до 0,2 мм; дрібні відшарування або вибоїни на поверхні; незначне висолонасичення чи забруднення поверхні.

Такі дефекти усуваються локальними ремонтними роботами або нанесенням захисних покриттів.

Друга, це: дефекти середнього ступеня небезпеки. Це пошкодження, що частково знижують несучу здатність елементів або порушують герметичність конструкції. Приклади: тріщини завширшки понад 0,3 мм, які проникають до арматури; відшарування та відколи захисного шару бетону на площі понад 0,1 м²; початкова корозія арматури; часткові деформації стін чи перекриттів.

Такі дефекти потребують детального обстеження, розроблення проєкту ремонту та контролю за динамікою розвитку ушкоджень [5, 6, 7].

Третя, це: критичні дефекти. Критичні пошкодження створюють загрозу цілісності конструкції та безпеці людей. Їх наявність вимагає негайного виведення споруди з експлуатації до проведення відновлювальних робіт. Приклади: наскрізні тріщини або руйнування несучих елементів; значне розшарування бетону з оголенням арматури; прогини, перекоси, осідання понад допустимі межі; активна корозія арматури з відшаруванням бетонного шару.

У практиці технічного нагляду для об'єктивної оцінки стану бетонних укриттів використовується комплексна система контролю, яка включає візуальне обстеження, інструментальні вимірювання та розрахункову оцінку залишкової міцності конструкцій. Отже, найбільш поширених дефектів бетонних конструкцій належать:

- тріщини різного характеру (усадкові, температурні, навантажувальні), які знижують монолітність і сприяють проникненню вологи;
- корозійне руйнування арматури, що призводить до розширення стрижнів і відшарування захисного шару бетону;
- висолонасичення та ерозія поверхонь, спричинені дією агресивного середовища;
- відшарування та локальні вибоїни, що утворюються під впливом циклів заморожування–відтавання;
- деформації та просідання, викликані нерівномірною роботою фундаментів або перевищенням проєктних навантажень.

Основними факторами, що зумовлюють появу дефектів у бетонних укриттях, є:

-помилки на етапі проєктування (недостатня товщина захисного шару бетону, неправильний вибір марки бетону);
- порушення технології виготовлення (недостатнє ущільнення суміші, перевищення водоцементного відношення, використання неякісних заповнювачів);
- вплив агресивного середовища (волога, солі, CO_2, сірчисті гази);
- втома матеріалу при тривалих навантаженнях;
- недостатній технічний нагляд та відсутність системного моніторингу стану конструкцій.

Для забезпечення довговічності бетонних укриттів доцільно застосовувати такі превентивні заходи:

- гідроізоляційний захист поверхонь полімерцементними та епоксидними покриттями [8];
- використання антикорозійних добавок і покриттів для арматури;
- ін'єктування тріщин епоксидними або поліуретановими складами;
- нанесення захисних та відновлювальних шарів із ремонтних сумішей високої адгезії;
- армування волокнами (фібробетон) для підвищення тріщиностійкості;

- регулярний моніторинг із залученням систем структурного контролю.

Висновки

Дефекти бетонних укриттів є результатом комплексної дії технологічних, експлуатаційних і природних чинників. Своєчасне виявлення пошкоджень, застосування сучасних методів діагностики та профілактичного зміцнення дозволяють суттєво продовжити термін експлуатації таких споруд. Використання фібробетонів, полімерних матеріалів та систем активного моніторингу забезпечує підвищену стійкість укриттів до руйнівних впливів і гарантує їхню безпечну експлуатацію.

Список використаної літератури

1. Ammari, H., Seo, J.K., Zhang, T., Zhou, L. Electrical impedance spectroscopy-based nondestructive testing for imaging defects in concrete structures. ar 2014. URL: https://arxiv.org/abs/1405.4582

2. Korec, E., Jirasek, M., Wong, H.S., Martínez-Pañeda, E. A phase-field chemo-mechanical model for corrosion-induced cracking in reinforced concrete. 2023. URL: https://arxiv.org/abs/2306.01903

3. Sauereisen, Inc. Concrete Corrosion: Types, Causes, and Prevention. URL: https://www.sauereisen.com/blog/concrete-corrosion-types-causes-and-prevention/

4. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. — Київ: Мінрегіонбуд України, 2010.

5. Kryton International Inc. Preventing Corrosion in Reinforced Concrete. URL: https://blog.kryton.com/2024/07/preventing-corrosion-in-reinforced-concrete/

6. Chryso Inc. Reducing concrete cracking - Top 10 tips for achieving high-quality concrete. URL: https://www.chrysoinc.com/blog/reducing-concrete-cracking-top-10-tips-for-achieving-high-quality-concrete/

7. UltraTech Cement Ltd. What Causes Corrosion in Concrete and How to Prevent it. URL: https://www.ultratechcement.com/for-homebuilders/home-building-explained-single/descriptive-articles/corrosion-in-concrete-causes-and-solution

8. ДСТУ-Н Б В.2.6-212:2016. Настанова щодо проектування та улаштування гідроізоляції будівель і споруд. — Київ: Мінрегіон України, 2016.

Колесник Андрій Вікторович – асистент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

Дубенчак Оксана Олександрівна – студентка групи 3Б-25б Вінницького національного технічного університету, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

Kolesnik Andrii V. - assistant Professor, Department of Construction, Urban Planning and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

Dubenchak Oksana O.— student in group 3B-25b at Vinnytsia National Technical University, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

УДК 624.04:624.012.45:519.6:699.8

Колесник А. В.

МОДЕЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ НА БЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД

Анотація: *розглядаються методи числового та аналітичного моделювання навантажень, включно з вибуховими та сейсмічними впливами, на бетонні укриття та стіни фортифікаційних споруд.*

Ключові слова: *моделювання, бетонні конструкції, навантаження, вибухостійкість, сейсмостійкість.*

Abstracts: *methods of numerical and analytical modelling of loads, including explosive and seismic effects, on concrete shelters and walls of fortifications are considered.*

Keywords: *modelling, concrete structures, loads, blast resistance, seismic resistance.*

Вступ

Фортифікаційні споруди виконують критичну роль у забезпеченні захисту особового складу та техніки в умовах бойових дій і надзвичайних ситуацій. Основними вимогами до таких об’єктів є міцність, стійкість, довговічність і здатність поглинати енергію динамічних впливів.У сучасних умовах військових загроз зростає потреба у спорудах, здатних витримувати значні вибухові навантаження, вплив уламків, ударні хвилі та сейсмічні коливання.

Традиційні підходи до проєктування базуються на спрощених схемах навантаження, які не враховують реальної часової історії тиску чи коливань. Тому моделювання навантажень стає ключовим інструментом у процесі проєктування фортифікацій. Застосування методів аналітичного та числового аналізу дозволяє дослідити складні динамічні процеси, що відбуваються у бетонних елементах, визначити критичні зони напружень, оптимізувати геометрію і матеріали конструкцій.

Основна частина

Аналітичне моделювання ґрунтується на класичних рівняннях механіки суцільного середовища, що описують розподіл напружень і деформацій у бетоні. Для моделювання вибухових впливів застосовуються рівняння, що враховують часову залежність тиску вибухової хвилі, а також геометричну конфігурацію споруди. Важливою складовою є визначення пікового тиску, тривалості імпульсу та радіуса дії вибуху [1].

Для сейсмічних навантажень використовуються спектральні методи, які дозволяють оцінити амплітудно-частотні характеристики відгуку конструкції. При цьому враховується взаємодія споруди з основою, що має значний вплив на розподіл коливань. Аналітичні підходи, хоча й спрощують реальні умови, дають можливість отримати первинну оцінку стійкості та визначити критичні ділянки, які потребують підсилення.

Числові методи, зокрема метод скінченних елементів (МСЕ), є ефективним інструментом для дослідження поведінки конструкцій під динамічними навантаженнями. За допомогою сучасних програмних комплексів, таких як ANSYS, ABAQUS, LS-DYNA, можна змоделювати не лише статичні, а й імпульсні впливи, що дозволяє прогнозувати розповсюдження тріщин, локальні руйнування та пластичні деформації [2].

Під час числового моделювання важливо правильно враховувати граничні умови, властивості матеріалів і часові залежності. Наприклад, у випадку вибуху застосовуються часові криві тиску, що діють на поверхні споруди. Для сейсмічних впливів застосовуються акселерограми, отримані під час реальних землетрусів. Таким чином можна дослідити взаємодію елементів конструкції, визначити потенційні зони ослаблення та оптимізувати геометрію споруди [3,4].

Бетон є складним композиційним матеріалом, поведінка якого при динамічних навантаженнях відрізняється від статичних умов. Його міцність на стиск збільшується зі зростанням швидкості навантаження, проте стійкість до розтягувальних напружень

зменшується. Тому при моделюванні слід враховувати динамічні коефіцієнти міцності та енергопоглинаючі властивості матеріалу.

Додаткове армування композитними або сталевими волокнами значно підвищує тріщиностійкість і стійкість конструкцій до повторних навантажень. Фібробетони демонструють підвищену енергоємність руйнування та зменшення ширини тріщин, що особливо важливо для захисних споруд. Застосування спеціальних модифікаторів, пластифікаторів і полімерних добавок дозволяє підвищити адгезію між компонентами та знизити ризик корозії арматури.

Результати моделювання дають змогу оптимізувати конструктивні рішення ще на етапі проєктування. Отримані дані використовуються для вибору раціональних товщин стін, перекриттів, типів армування та матеріалів. У випадку виявлення зон концентрації напружень можуть бути застосовані методи локального підсилення, включно з установленням демпферних вставок, шарів еластомерів або додаткових енергопоглинаючих прошарків [5].

Застосування числового моделювання в комплексі з експериментальними дослідженнями дозволяє скоротити витрати на випробування, підвищити точність прогнозів і забезпечити високий рівень надійності споруд. Отримані результати можуть бути інтегровані в нормативні документи з проєктування оборонних об'єктів та використані при створенні нових типів фортифікаційних споруд [6,7].

Висновки

Моделювання навантажень на бетонні конструкції фортифікаційних споруд є ключовим етапом забезпечення їх стійкості до вибухових і сейсмічних впливів. Комбінація аналітичних та числових методів дозволяє отримати достовірні результати й врахувати реальні умови експлуатації. Використання методів скінченних елементів забезпечує детальний аналіз напружено-деформованого стану конструкцій та виявлення потенційних зон руйнування.

Армування фібробетоном, застосування енергопоглинаючих матеріалів і багатошарових систем істотно підвищує вибухо- та сейсмостійкість бетонних споруд. Отримані результати можуть бути використані при вдосконаленні нормативних документів і методик розрахунку фортифікаційних об'єктів.

Список використаних джерел:

1. Pham D. H., Le B. D. A comparison between experimental and numerical studies for reinforced concrete slabs under blast loading. Geomate Journal, 2022, Vol. 22 (93), pp. 1–8. URL: https://geomatejournal.com/geomate/article/view/3414

2. Zhang W., Kong X., Qu Y., Zhao Q. Numerical simulation of cracked reinforced concrete slabs subjected to blast loading. Civil Engineering Journal, 2018, Vol. 4 No. 2. DOI: 10.28991/cej-030994. URL: https://www.civilejournal.org/index.php/cej/article/view/683

3. Jayasinghe B., Goh A. T. C., Zhao Z., Zhou H., Gui Y. Numerical analysis of reinforced concrete piles under blast loads. IPTEK Journal of Proceedings Series, 2019. URL: https://iptek.its.ac.id/index.php/jps/article/view/3318

4. Xiong Z., Wang W., Yu G., Ma J., Zhang W., Wu L. Experimental and numerical study of non-explosive simulated blast loading on reinforced concrete slabs. Materials, 2023, 16(12), 4410. DOI: 10.3390/ma16124410.

5. Xu J. Computational modelling of concrete structures subjected to high impulsive loading. PhD thesis, University of Edinburgh, 2016. URL: https://era.ed.ac.uk/handle/1842/20954

6. Колесник А.В. Особливості методики розрахунку та забезпечення стійкості конструкцій фортифікаційних споруд [Електронний ресурс]/А.В. Колесник/ Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції –Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки (2023)" м.Вінниця, 15-16 листопада 2023 р. — Електроний текст дані — 2023. Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/apozbt/apozbt2023/paper/view/19213.

7. Колесник А.В. Фортифікаційні споруди для збереження особового складу: аналіз досвіду бойових дій // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної інтернет- конференції «Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки» Вінниця, 13-14листопада 2024р. Вінниця. С.347-350. Електрон. Текст. дані. 2024 URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/apozbt/apozbt2024/paper/view/22270

Колесник Андрій Вікторович **–** викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

Kolesnik Andrii V. – lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

УДК 355.23:37.035.6

Колеснікова І. М., Колесник А. В.

ОСОБЛИВОСТІ НАЦІОНАЛЬНО-ПАТРІОТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ В РАМКАХ БАЗОВОЇ ЗАГАЛЬНОВІЙСЬКОВОЇ ПІДГОТОВКИ (БЗВП)

Анотація. *Розглянуто роль національно-патріотичної підготовки як невід'ємного складника базової загальновійськової підготовки (БЗВП). Визначено основні напрями формування патріотичної свідомості військовослужбовців, методи виховання готовності до захисту держави, а також педагогічні засади інтеграції патріотичного виховання у систему військової освіти. Окреслено сучасні підходи до організації занять, мотиваційні чинники та роль інструктора у розвитку морально-вольових якостей особового складу.*

Ключові слова: *національно-патріотичне виховання, базова загальновійськова підготовка, військова освіта, морально-психологічна стійкість, мотивація, захист України.*

Abstracts. *The role of national-patriotic training as an integral part of basic military training (BMT) is considered. The main directions of forming patriotic consciousness of military personnel, methods of educating readiness to defend the state, as well as pedagogical principles of integrating patriotic education into the military education system are determined. Contemporary approaches to organising classes, motivational factors, and the role of the instructor in developing the moral and volitional qualities of personnel are outlined.*

Keywords: *national-patriotic education, basic general military training, military education, moral and psychological resilience, motivation, defence of Ukraine.*

Вступ

Національно-патріотична підготовка є одним із ключових елементів базової загальновійськової підготовки (БЗВП), що спрямована не лише на засвоєння військово-прикладних знань, а й на формування світоглядних орієнтирів захисника України. В умовах повномасштабної збройної агресії питання моральної стійкості, ідейної мотивації та усвідомлення власної ролі у справі оборони держави набувають особливої актуальності.

Основна частина

Метою дослідження є визначення змістових і педагогічних особливостей національно-патріотичної підготовки у структурі базової загальновійськової підготовки та виявлення ефективних методів формування стійкої патріотичної позиції у військовослужбовців.

Національно-патріотична підготовка в системі БЗВП спрямована на формування в особового складу таких якостей, як вірність присязі, відповідальність за долю держави, дисциплінованість, готовність діяти в інтересах українського народу. Вона включає три взаємопов'язані компоненти [1]:

- світоглядно-ідеологічний — ознайомлення з історією України, її героїчними сторінками, символікою, духовними і культурними надбаннями;
- морально-психологічний — розвиток внутрішньої стійкості, почуття обов'язку, впевненості у власних силах, взаємоповаги у військовому колективі;
- практичний — застосування патріотичних знань і цінностей під час навчально-бойових занять, у процесі стройової, вогневої та тактичної підготовки.

Важливим педагогічним принципом є єдність навчання та виховання. Ефективний викладач має володіти високою педагогічною культурою, емоційним інтелектом, навичками комунікації та психологічної підтримки. Успішність національно-патріотичної підготовки значною мірою залежить від його здатності створювати атмосферу довіри, поваги та взаєморозуміння. Будь-яке заняття в межах БЗВП має не лише навчальну, але й виховну мету — формувати у студентів переконання у необхідності захисту держави, усвідомлення значення військової служби для збереження свободи і незалежності України [1, 2].

Роль викладача у цьому процесі є визначальною. Він не тільки передає знання, а й виступає моральним взірцем, демонструє особисту відданість військовій присязі, патріотизм і професіоналізм. Через особистий приклад, наставництво і підтримку інструктор формує довіру та бойове братерство в колективі.

Серед ефективних методів і форм національно-патріотичної підготовки варто виокремити [3,4]:

- аналіз історичних прикладів героїзму українських воїнів;
- тематичні бесіди та дискусії з морально-етичних питань;
- участь у військово-патріотичних заходах, зустрічах з учасниками бойових дій;
- використання елементів психологічного тренінгу для розвитку лідерських якостей і стресостійкості.

Результати спостережень і практичного досвіду військових навчальних закладів свідчать, що системне впровадження національно-патріотичної підготовки в межах БЗВП позитивно впливає на [5,6]:

- підвищення морального духу та бойової мотивації особового складу;
- зміцнення почуття колективної відповідальності і товариства;
- формування активної громадянської позиції військовослужбовців;
- готовність до самовідданих дій у бойових умовах.

На практиці реалізація патріотичного виховання у межах БЗВП здійснюється через: тематичні заняття та виховні години; участь у меморіальних заходах, вшанування загиблих героїв; польові збори, де патріотичний компонент інтегрується з бойовою підготовкою; конкурсні програми, вікторини, зустрічі з представниками ветеранських організацій; проведення інформаційно-просвітницьких кампаній про сучасних захисників України.

Ефективність таких заходів підтверджується підвищенням морального духу, рівня згуртованості та відповідальності особового складу. Таким чином, національно-патріотична підготовка є невід'ємним чинником забезпечення високої боєздатності військових формувань.

Висновки

Національно-патріотична підготовка є основою морально-психологічного забезпечення базової загальновійськової підготовки. Її ефективність залежить від поєднання навчальних, виховних і психологічних методів впливу. Формування патріотичної свідомості має здійснюватися системно, з урахуванням сучасних викликів та досвіду воєнних дій.

Ключову роль у цьому процесі відіграє викладач, який формує у майбутніх військовослужбовців моральну готовність до виконання бойових завдань і відповідальність перед народом України.

Список використаних джерел:

1. Міністерство освіти і науки України. Типова програма навчальної дисципліни «Базова загальновійськова підготовка». Затверджено 24.02.2025. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/2025/02/24/typova-prohrama-navch-dystsypliny-bzvp-vo-24-02-2025.pdf

2. Концепція національно-патріотичного виховання в системі освіти України: Наказ Міністерство освіти і науки України № 527 від 06.06.2022 «Про затвердження заходів щодо реалізації Концепції…». URL: https://mon.gov.ua/news/kontseptsiya-natsionalno-patriotichnogo-vikhovannya-ditey-ta-molodi

3. Міністерство оборони України. «Військово-патіотичне виховання у Збройних Силах України». URL: https://mod.gov.ua/diyalnist/normativno-pravova-baza/vijskovo-patriotichne-vihovannya-u-zbrojnih-silah-ukraini

4. Стратегія національно-патріотичного виховання: Указ Президента України № 2086/2019 від 18.05.2019; та відповідні нормативні документи. URL: https://grcprpp.gov.ua/nacionalnopatriotichne-vihovannya-15-28-08-07-07-2023/

5. Колесник А.В. Інформаційно-психологічні операції та інформаційна бусифікація, як системний чинник впливу потенційного противника // Матеріали IV Міжнародної науково-

технічної інтернет- конференції «Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки» Вінниця, 13-14листопада 2024р. Вінниця. Електрон. Текст. дані. 2024
URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/apozbt/apozbt2024/paper/view/22268
6. Онопрієнко О. М., Онопрієнко О. В. «Теоретичні засади патріотичного виховання військовослужбовців України». Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Серія: Педагогічні науки, 2025. URL: https://er.chdtu.edu.ua/handle/ChSTU/5553

Колесникова Інна Миколаївна **–** викладач кафедри військової підготовки Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: innakolesnykova153@gmail.com
Колесник Андрій Вікторович **–** викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

Kolesnikova Inna M. **–** lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: innakolesnykova153@gmail.com
Kolesnik Andrii V. – lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

УДК 624.012.45:620.179.1:355.48

Колесник А. В., Любич В. В.

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БЕТОННИХ ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД: МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ТА МОНІТОРИНГУ

Анотація. *Досліджуються методи оцінки стану бетонних конструкцій, включно з візуальним оглядом, неразрушаючими методами контролю та дистанційним моніторингом. Пропонуються алгоритми виявлення дефектів та прогнозування зносу.*

Ключові слова: *технічний стан, бетонні конструкції, діагностика, моніторинг, фортифікаційні споруди.*

Abstracts. *Methods for assessing the condition of concrete structures, including visual inspection, non-destructive testing and remote monitoring, are investigated. Algorithms for defect detection and wear prediction are proposed.*

Keywords: *technical condition, concrete structures, diagnostics, monitoring, fortifications.*

Вступ

Бетонні фортифікаційні споруди (укриття, захисні стіни, бункери) мають тривалий термін експлуатації, працюючи в жорстких умовах — вплив вибухових, динамічних навантажень, корозійних процесів, змін умов навколишнього середовища. Оцінка їх технічного стану є критичною для забезпечення надійності, безпеки та функціональності. Ефективна діагностика та моніторинг дозволяють виявляти дефекти на ранніх етапах і планувати заходи зміцнення.

Основна частина

У сучасних умовах ведення бойових дій на території України питання оцінки технічного стану фортифікаційних споруд набуває особливої актуальності. Від надійності бетонних укріплень залежить безпека особового складу, збереження техніки та успішність оборонних операцій. Враховуючи значний термін експлуатації більшості інженерних споруд, а також вплив агресивних факторів середовища, виникає необхідність у систематичному моніторингу та діагностиці їх технічного стану [1,2].

На технічний стан бетонних конструкцій впливають такі чинники:

- механічні навантаження (ударні, вибухові, статичні);
- температурно-вологісні коливання, які викликають мікротріщини;
- корозія арматури через проникнення агресивних речовин;
- ерозія поверхонь внаслідок обстрілів, опадів або термічних впливів;
- втома матеріалу, що призводить до поступової втрати міцності.

Комплексна оцінка стану споруд вимагає урахування всіх цих факторів у сукупності. Методи оцінки технічного стану бетонних конструкцій включають в себе:

-візуальний огляд – це базовий етап діагностики, що передбачає: визначення наявності тріщин, сколів, відшарувань; фіксацію деформацій, протікань, відшарувань арматури; фотофіксацію та складання карт пошкоджень. Хоча метод є суб’єктивним, він дає змогу швидко оцінити загальний стан об’єкта;

- неразрушаючі методи контролю (НМК). Для отримання кількісних даних про властивості бетону використовують: ультразвуковий контроль (визначення однорідності та тріщин); склерометричний метод (оцінка міцності бетону за відскоком ударного бойка); електромагнітні методи (виявлення положення арматури, визначення товщини захисного шару); рентгенографію та термографію (визначення внутрішніх дефектів); акустичну емісію (контроль процесів мікроруйнування у реальному часі).

Поєднання кількох методів дозволяє сформувати достовірну картину технічного стану. Лабораторні методи застосовуються для уточнення результатів діагностики — визначення

класу бетону, вмісту вологи, щільності, глибини карбонізації, ступеня корозії арматури тощо [3,4].

Системи сучасного дистанційного моніторингу дозволяють встановлювати сенсорні системи моніторингу, які у режимі реального часу фіксують: деформації та переміщення елементів конструкції; коливання температури та вологості; появу тріщин (оптоволоконні сенсори); вібрації та акустичні сигнали. Такі системи можуть бути інтегровані у комплекс безпеки військових споруд, передаючи дані до командних пунктів для аналізу [5,6].

Алгоритм оцінки технічного стану включає наступну послідовність етапів:

1. Підготовчий етап — збір даних про конструкцію, умови експлуатації, проектну документацію.
2. Первинна оцінка — візуальне обстеження, фотофіксація.
3. Інструментальна діагностика — застосування НМК та лабораторних випробувань.
4. Аналіз даних і класифікація стану (нормальний, задовільний, аварійний).
5. Прогнозування зносу на основі математичних моделей або машинного навчання.
6. Розроблення рекомендацій щодо ремонту, підсилення або реконструкції споруди.

Для оцінки залишкового ресурсу споруди використовують [7]:

- емпіричні моделі деградації бетону (на основі даних про вологість, температуру, навантаження);
- методи надійності (ймовірнісний підхід);
- цифрові двійники бетонних об'єктів, які дозволяють моделювати процес старіння та вплив пошкоджень у часі.

Висновки

Комплексна оцінка технічного стану бетонних фортифікаційних споруд повинна базуватись на поєднанні візуального контролю, неразрушаючих методів та системного моніторингу [7].

Використання сучасних цифрових технологій (сенсорних мереж, дронів, 3D-моделювання) підвищує точність діагностики та дозволяє здійснювати прогнозування залишкового ресурсу конструкцій.

Розроблення уніфікованих методик оцінки технічного стану фортифікаційних споруд є важливим завданням для підвищення обороноздатності та безпеки військових формувань України.

Список використаних джерел:

1. Amaya A., Sierra-Pérez J. Toward a Structural Health Monitoring Methodology for Concrete Structures under Dynamic Loads Using Embedded FBG Sensors and Strain Mapping Techniques. Sensors, 2022, 22(12):4569. DOI: 10.3390/s22124569. URL: https://www.mdpi.com/1424-8220/22/12/4569.
2. Колесник А.В. Особливості методики розрахунку та забезпечення стійкості конструкцій фортифікаційних споруд [Електронний ресурс]/А.В. Колесник/ Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки (2023)" м.Вінниця, 15-16 листопада 2023 р. — Електроний текст дані — 2023. Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/apozbt/apozbt2023/paper/view/19213.
3. Liao W.-I., Hsiao F.-P., Chiu C.-K., Ho C.-E. Structural Health Monitoring and Interface Damage Detection for Infill Reinforced Concrete Walls in Seismic Retrofit of Reinforced Concrete Frames Using Piezoceramic-Based Transducers Under the Cyclic Loading. Applied Sciences, 2019, 9(2):312. DOI: 10.3390/app9020312. URL: https://www.mdpi.com/2076-3417/9/2/312
4. "Application of non-destructive geophysical methods for testing concrete structures." *Journal of King Saud University – Science*, [Рік], URL: https://jksus.org/application-of-non-destructive-geophysical-methods-for-testing-concrete-structures/
5. "Exploring the Potential of Promising Sensor Technologies for Concrete Structural Health Monitoring." Materials, 2024-? URL: https://www.mdpi.com/1996-1944/17/10/2410

6. —Structural Health Monitoring of Concrete Bridges Through Artificial Intelligence: A Narrative Review.” Applied Sciences, 2023. DOI: URL: https://www.mdpi.com/2076-3417/15/9/4855
7. Колесник А.В. Фортифікаційні споруди для збереження особового складу: аналіз досвіду бойових дій // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної інтернет- конференції «Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки» Вінниця, 13-14листопада 2024р. Вінниця. С.347-350. Електрон. Текст. дані. 2024 URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/apozbt/apozbt2024/paper/view/22270

Колесник Андрій Вікторович **–** викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.
Любич Володимир Володимирович **–** викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Kolesnik Andrii V. – lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.
Lyubich Volodymyr V. – lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

УДК: 624.012.45:614.84

Колесник А. В., Вдовін М. А.

ЦИВІЛЬНІ ЗАХИСНІ СПОРУДИ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ: ПРОЄКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ

Анотація. *Розглянуто основні принципи проєктування, будівництва та експлуатації цивільних захисних споруд подвійного призначення. Проаналізовано нормативно-правові засади їхнього функціонування в Україні, конструктивні особливості, вимоги до матеріалів, систем життєзабезпечення та безпеки. Особливу увагу приділено питанню адаптації будівель мирного часу до умов надзвичайних ситуацій та військових загроз. Запропоновано рекомендації щодо підвищення ефективності експлуатації таких споруд у сучасних умовах воєнної агресії та обмежених ресурсів.*

Ключові слова: *цивільний захист, укриття, споруди подвійного призначення, фортифікаційні елементи, експлуатація, безпека.*

Abstracts. *The main principles of design, construction and operation of dual-purpose civil defence structures are considered. The regulatory and legal framework for their operation in Ukraine, design features, requirements for materials, life support and safety systems are analysed. Particular attention is paid to the issue of adapting peacetime buildings to emergency situations and military threats. Recommendations are made to improve the efficiency of such structures in the current conditions of military aggression and limited resources.*

Keywords: *civil defence, shelters, dual-purpose structures, fortification elements, operation, safety.*

Вступ

Питання забезпечення надійного укриття населення в умовах надзвичайних ситуацій та воєнних дій набуває особливої актуальності в сучасних реаліях. Традиційні сховища та бомбосховища, що створювалися в період Холодної війни, часто не відповідають сучасним вимогам до комфорту, енергоефективності та оперативного використання.

Водночас цивільні споруди подвійного призначення — це ефективне рішення, яке поєднує функції об'єктів громадського користування у мирний час із можливістю їх швидкого переобладнання в укриття у разі небезпеки.

Основна частина

Цивільні захисні споруди подвійного призначення — це будівлі або приміщення, які в мирний час використовуються за господарським чи соціальним призначенням (паркінги, підземні переходи, спортивні зали, склади, метрополітен тощо), а у разі виникнення надзвичайної ситуації або воєнної загрози можуть бути оперативно переобладнані в укриття для населення чи персоналу.

Залежно від рівня захисту, їх поділяють на [1,2]:

- укриття простого типу (протирадіаційні та проти уламкові);
- споруди з підвищеним рівнем захисту (від ударної хвилі та вибухового навантаження);
- фортифікаційні споруди цивільного призначення (із багатошаровими або армованими елементами).

В Україні порядок створення, утримання та використання захисних споруд визначається низкою нормативних документів, зокрема:

- Кодексом цивільного захисту України (2012);
- ДБН В.2.2-5:2023 "Захисні споруди цивільного захисту";
- Наказом МВС України №579 від 09.07.2018 "Про затвердження Порядку обліку фонду захисних споруд";
- ДСТУ-Н Б В.1.1-ХХ:2020 "Настанова з проєктування споруд подвійного призначення".

Ці документи регламентують конструктивні, інженерні та експлуатаційні вимоги, включно з місткістю, герметичністю, автономним забезпеченням повітрям, водою та електроенергією.

Основною вимогою до споруд подвійного призначення є їхня стійкість до механічних, теплових та динамічних навантажень, що виникають під час вибухів або обвалів. Сучасні проєкти передбачають застосування [3]:

- залізобетонних та фібробетонних конструкцій з високоміцними арматурами;
- багатошарових стін із енерго- та звукоізоляційними прошарками;
- вибухостійких дверей та герметичних клапанів;
- амортизувальних основ і демпферних систем.

Важливо забезпечити двозонну систему вентиляції, автономне живлення та запаси води й харчів для перебування людей упродовж 48–72 годин [4].

Проєктування таких об'єктів базується на принципі адаптивності — можливості швидкого переходу з мирного стану до режиму захисту. Ключові етапи:

- вибір місця розташування — бажано у щільній міській забудові, поблизу соціальних об'єктів;
- конструктивна адаптація — передбачення додаткових армувальних елементів та герметичних шлюзів;
- функціональна гнучкість — передбачення систем трансформації внутрішнього простору;
- інженерні рішення — незалежні комунікації, фільтровентиляційні установки, аварійне освітлення.

Під час експлуатації у мирний час споруди можуть використовуватися як підземні паркінги, склади, спортзали, архіви чи коворкінги. Регулярно проводяться: перевірки герметичності, фільтровентиляційних систем, стану гідроізоляції, технічне обслуговування електричних та насосних систем, періодичні навчання персоналу щодо переведення споруди у режим укриття [5].

Важливою складовою є цифровий моніторинг технічного стану конструкцій, що може здійснюватися за допомогою сенсорів вібрації, деформаційних датчиків та систем дистанційного нагляду. Серед актуальних тенденцій [6]:

- використання 3D-друку бетонних елементів для швидкого зведення модульних укриттів;
- впровадження енергоефективних систем вентиляції та LED-освітлення;
- розробка мобільних споруд подвійного призначення для військових частин і цивільних об'єктів;
- застосування штучного інтелекту для моніторингу стану конструкцій.

Головними викликами залишаються недостатнє фінансування**,** застарілий фонд захисних споруд та низький рівень підготовленості персоналу до експлуатації таких об'єктів у кризових ситуаціях.

Висновки

Цивільні захисні споруди подвійного призначення є важливим елементом сучасної системи цивільного захисту. Їх ефективне проєктування та експлуатація забезпечують не лише збереження життя людей, а й раціональне використання міської інфраструктури.

Розвиток цієї сфери вимагає міждисциплінарного підходу, поєднання інженерних, архітектурних, правових та організаційних рішень, а також державної підтримки програм з оновлення та будівництва укриттів нового покоління.

Список використаних джерел:

1. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. – Київ: Мінрегіон України, 2023.

2. Кодекс цивільного захисту України. – Київ: Верховна Рада України, 2012.

3. Колесник А.В., Томчук М.А., Томчук М.М. Особливості влаштування захисних споруд в умовах військового часу. [Електронний ресурс] / А.В. Колесник, М.А. Томчук / Міжнародно науково-практична інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців. Молодь в науці: дослідження, пробле-ми, перспективи (МН-2024) (2024) Вінниця, ВНТУ.

Режим доступу: https://confere nces.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/21538.

4. Джеджула В.В. 2023 Особливості влаштування вентиляції в захисних спорудах цивільного захисту. Сучасні технології і конструкції в будівництві, 35, 2 (груд. 2023), 185-189 DOI:https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-2-185-189.

5. Томчук М.А., Колесник А.В., Записов Д.В. Особливості влаштування систем вентиляції в захисних спорудах в умовах військового часу. VII Міжнародної науково-практичної конференції Актуальні проблеми та перспективи розвитку охорони праці, Безпеки життєдіяльності та цивільного захисту (29-30 квітня 2025 р.) м. Одеса.

Режим доступу: https://odaba.edu.ua/upload/files/Programa_konf_ohorona_pratsi2025.pdf

6. Колесник А. В., Записов Д. В., Терещенко О. П.. Способи підвищення надійності та комфортності укриттів для особового складу на основі досвіду військових дій» Міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту», секція: Проблеми проектування, виготовлення та експлуатації озброєння, Вінниця, 3-5 червня 2025 р. – Електрон. текст. дані. – 2025. https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/prmt/pmrt2025/paper/view/24919/20599

Колесник Андрій Вікторович *– асистент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.*

Вдовін Максим Андрійович *– студент групи 2БМ-25б Вінницького національного технічного університету e-mail: andrey.enginer@gmail.com.*

Kolesnyk Andrii V. *– assistant Professor, Department of Construction, Urban Planning and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.*

Vdovin Maksym A. *– student of group 2BM-25b at Vinnytsia National Technical University, e-mail: andrey.enginer@gmail.com*

УДК 624.012.45:699.841:620.

Колесник А. В., Заєць О. С.

ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ У ЗМІЦНЕННІ ФУНДАМЕНТІВ І БЕТОННИХ СТІН ЗАХИСНИХ СПОРУД

Анотація. *Досліджено застосування сучасних композитних матеріалів для підвищення міцності фундаментів та стін укриттів. Розглядаються варіанти армування та зміцнення конструкцій..*

Ключові слова: *композити, армування, бетонні стіни, фундаменти, захисні споруди.*

Abstracts. *The use of modern composite materials to increase the strength of foundations and shelter walls is investigated. Options for reinforcing and strengthening structures are considered.*

Keywords: *composites, reinforcement, concrete walls, foundations, protective structures.*

Вступ

Сучасні цивільні та фортифікаційні споруди часто потребують укріплення — через будівельний знос, зміну навантажень або необхідність підвищити стійкість до вибухових/ударних впливів. Композитні матеріали на основі полімерних волокон (FRP — fiber-reinforced polymers), базальтових волокон (BFRP) та текстиль-мінеральних систем (FRCM/CRM) стали однією з провідних технологій ремонту та підсилення бетонних елементів завдяки високому відношенню міцність/маса, корозійній стійкості та відносній простоті монтажу. Різні міжнародні керівництва та численні дослідження підтверджують ефективність FRP-систем для зміцнення колон, балок, стін та оболонок укриттів.

Основна частина

Композитні матеріали поєднують у собі високу міцність волокон (вуглецевих, скляних, базальтових) із пластичністю полімерних матриць. Це дозволяє створювати тонкі армувальні шари, здатні ефективно передавати зусилля та протидіяти деформаціям.Основні переваги композитних матеріалів у зміцненні конструкцій: висока питома міцність (у 3–5 разів більша за сталь при меншій вазі), стійкість до корозії та хімічних впливів, простота монтажу та можливість нанесення без демонтажу конструкції, збільшення довговічності бетонних споруд до 50–70 років [1].

Принципи композитних систем і їхні властивості:

- епоксидні FRP (CFRP, GFRP, AFRP) — ткані або наповнені волокна, змонтовані як зовнішня оболонка або в якості смуг; висока міцність на розтяг і корозійна стійкість. BFRP (базальтові волокна) — екологічніша і дешевша альтернатива CFRP, з хорошими механічними властивостями в деяких застосуваннях.
- FRCM/CRM (textile-inorganic — сітка у мінеральному матриці) — дозволяє кращу паропроникність та термостійкість в порівнянні з органічними епоксидними системами; застосовується для шорстких або вологих поверхонь.
- префабриковані композитні «жакети» — заводські оболонки або панелі, що монтуються навколо колони/стіни для швидкого ремонту/зміцнення. Ключові технічні характеристики: модуль пружності, межа міцності на розтяг, адгезія до бетону, вогнестійкість і поведінка при динамічних впливах.

Методики зміцнення фундаментів і стін [2]:

- зовнішнє обшивання (EBR — externally bonded reinforcement);
- найпоширеніший підхід — обклейка елементів FRP-латами/стрічками з епоксидною смолою. Забезпечує покращення несучої здатності на розтяг і підвищення обмеження розтріскування; широко описаний у міжнародних керівництвах (ACI 440.x).

Застосування: посилення стін проти вигину/зсуву, обшивка колон на фундаментних стінках — додаткове армування ділянок, схильних до зсуву/осадження, NSM (near-surface mounted) — вкладання композиту в пази. Шліфуються пази в бетоні, в них встановлюються

композитні стержні або стрічки, що вводяться й ін'єктуються адгезивом. До переваг можна віднести краща механічна взаємодія і менша уразливість до пошкоджень поверхні. Рекомендовано для елементів з обмеженим доступом або коли необхідно зберегти профіль поверхні.

Повна або часткова оболонка колон/стін композитними матеріалами для забезпечення поперечного обтиску (confinement) — підвищує міцність на стиск, енергоємність при динамічних навантаженнях і стійкість до локальних руйнувань. Префабриковані ж-етки прискорюють монтаж у кризових умовах.

Комбінують композитні матеріали з традиційними заходами: бетони/розширювальні розчини для підсилення підошви фундаменту, сталеве обрамлення у поєднанні з FRP для кращого анкерування. Для фундаментів можливі методи підошвового підсилення (underpinning) у поєднанні з композитною обшивкою стін для забезпечення цілісності системи.

До особливостей застосування до захисних споруд можна віднести [3,4]:

- вибухостійкість і ударні впливи. FRP-системи можуть підвищувати енергоємність стін і їх стійкість до фрагментації, але проектування під вибух потребує спеціального аналізу динамічної взаємодії матеріалів (поведінка при високих швидкостях деформації) — стандартні статичні розрахунки недостатні;

- вологість і агресивне середовище. У підземних укриттях можливі підвищені рівні вологості або контакт із грунтовими розчинами; в таких умовах FRCM/мінеральні матриці часто переважають епоксидні через більшу паропроникність і термостійкість;

- анкерування і надійність зчеплення. Для забезпечення довговічної роботи необхідне коректне підготовлення поверхні, використання якісних праймерів/адгезивів і, у деяких випадках, механічне анкерування смуг. Керівництва ACI дають детальні процедури підготовки та контролю якості.

До проєктних вимог та контролю якості можна віднести [5,6]:

- дослідження стану базового бетону: склад, тріщини, корозія арматури, вологоізоляція. Перед застосуванням композиту необхідне відновлення ушкоджених ділянок;

- вибір матеріалу: врахувати механічні параметри, сумісність із середовищем і температурний режим експлуатації;

- розрахунок: слід використовувати методики, закладені в ACI 440.x та інших довідниках для визначення необхідної площі армування та контролю деформацій;

- контроль виконання**:** вимір адгезії (pull-off tests), неруйнівний контроль укладених смуг, візуальний огляд, перевірка геометрії;

- моніторинг у експлуатації: встановлення датчиків деформації/стіни, періодичні інспекції, контроль проникнення вологи та стану адгезиву.

Висновки

Композитні матеріали відкривають нові можливості для підвищення надійності бетонних захисних споруд. Вони забезпечують не лише зміцнення несучих елементів, а й захист від корозії та старіння матеріалу. Їх використання особливо доцільне для модернізації існуючих укриттів, коли потрібно досягти високої ефективності без значних конструктивних змін. Композити стають ключовим елементом нової концепції інженерного захисту, поєднуючи міцність, легкість і довговічність.

Список використаних джерел:

1. ДБН В.2.6-160:2020. Конструкції будинків і споруд. Залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ: Мінрегіон України, 2020.

2. ACI Committee 440. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (ACI 440.2R-17). American Concrete Institute. PDF-огляд: https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/440.2R-17_preview.pdf

3. ACI Committee 440. Design and Construction of Externally Bonded and Near-Surface-Mounted FRP Systems (440.2-23 preview). PDF-огляд: https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/440.2-23_preview.pdf

4. —Strengthening of reinforced concrete hydraulic structures with external reinforcement system made of carbon fiber-based composite materials with development of calculation recommendations.” Buildings, 2024, 14(12):3739. DOI:10.3390/buildings14123739. URL: https://www.mdpi.com/2075-5309/14/12/3739

5. Shang Xing-yan; Yu Jiang-tao; Li Ling-zhi; Lu Zhou-dao. Strengthening of RC structures by using engineered cementitious composites: a review. Sustainability, 2019, 11(12):3384. DOI:10.3390/su11123384. URL: https://www.mdpi.com/2071-1050/11/12/3384

6. —Reinforcement of Structures with Composite Materials.” Kravchenko G.M., Trufanova E.V., Osadchiy A.S., Sazonova A. Materials Science Forum, Vol. 974, 2020, pp. 535-541. DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.974.535.
URL: https://www.scientific.net/MSF.974.535

Колесник Андрій Вікторович *– асистент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.*

Заєць Олександр Сергійович *– студент групи 3Б-25б Вінницького національного технічного університету e-mail: andrey.enginer@gmail.com.*

Kolesnik Andrii V. *– assistant Professor, Department of Construction, Urban Planning and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.*

Zayets Oleksandr S. *– student of group 3B-25b at Vinnytsia National Technical University e-mail: andrey.enginer@gmail.com.*

УДК 629.735.083.7

Василенко Е. К., Древенчук Р. В.

ВДОСКОНАЛЕННЯ СВІТЛОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІТАКА-ВИНИЩУВАЧА МІГ-29 ДЛЯ АДАПТАЦІЇ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ В НІЧНИХ УМОВАХ

Анотація. *У статті розглянуто важливість вдосконалення світлотехнічного обладнання під час бойових дій, коли в складній обстановці під час маскувальних дій, де злітно-посадкова смуга не забезпечена освітленням, воно відіграє важливу роль в забезпеченні безпеки польотів та збереженні життів особового складу. Розроблена пропозиція інтегрування світлодіодних джерел освітлення на заміну старих ламп розжарювання. Використання запропонованого вдосконалення світлотехнічного обладнання літака-винищувача дозволить забезпечити в довгостроковій перспективі ресурс освітлювалбного обладнання.*

Ключові слова: *світлотехнічне обладнання, діод.*

Annotation. *The article discusses the importance of improving lighting equipment during combat operations, when in difficult conditions during camouflage operations, where the runway is not equipped with lighting, it plays an important role in ensuring flight safety and preserving the lives of personnel. A proposal has been developed to integrate LED lighting sources to replace old incandescent lamps. The use of the proposed improvement of lighting equipment on fighter aircraft will ensure the long-term service life of lighting equipment.*

Keywords: *lighting equipment, diode.*

Світлотехнічне обладнання ЛА - це освітлювальні та сигнальні пристрої на борту повітряних суден, призначені для створення світлового середовища, придатного для роботи екіпажу в польоті і на землі, інформування його про положення в повітрі повітряного судна, стан його систем і компонентів .

Світлотехнічні засоби створюють умови, необхідні для роботи екіпажів під час нічних польотів, забезпечують необхідну безпеку на всіх етапах польоту, полегшують керування літаками в бойових порядках і управління польотами за будь-яких погодних умов, вночі та вдень, , що дуже важливо в зоні ведення бойових дій, Забезпечити безпечне пересування в районах аеродромів і навколо них.

Забезпечення нормальних умов освітлення для наземного технічного персоналу дає змогу виконувати всі види технічного обслуговування повітряних суден, включно з передпольотним, післяпольотним, регламентним обслуговуванням і військовим ремонтом літаків у нічний час.

Інформування екіпажу про надзвичайну ситуацію є важливою необхідністю. Швидкість і зручність подання пілотом інформації та її сприйняття впливають на точність оцінки ситуації і прийняття рішень в конкретній ситуації.

Авіаційні лампи розжарювання відрізняються невеликими габаритами, вібростійкістю і можливістю роботи на великих висотах. Цоколь лампи призначений для закріплення на штифті, тому його можна зрізати при вібрації. Невеликий розмір досягається за рахунок використання невеликої напруги живлення (27-28 В, іноді 6 В). Таким чином, термін служби авіаційних ламп розжарювання значно коротше, ніж у звичайних. Значне зменшення габаритів і збільшення терміну служби забезпечується за рахунок заповнення колби лампи галогеном (фтором, хлором, йодом), що запобігає знос нитки розжарення. Лампи розжарювання дуже чутливі до перепадів напруги, тому зменшення їх потужності на 10% вдвічі зменшить світловіддачу. У ланцюзі живлення лампи, яка працює в салоні, встановлений реостат, що запобігає перегрів лампи і світильника і регулює інтенсивність світла. Він призначений для зниження напруги до 15 в.

На сьогоднішній день такі системи вже застаріли, так як розробка авіаційного обладнання вдосконалюється з кожним роком і стає все складніше. Виходячи з цього, слід зазначити, що необхідність вдосконалення полягає у вирішенні проблем аналогічного характеру, але з відстрочкою. У цій галузі є ефективне рішення, адаптоване до сучасних літаків, воно повинно враховувати, що пілот - це людина, реакція на той чи інший сигнал сприймається протягом певного періоду часу, а рішення і дії також впливають на час.

Світлодіоди-це різновид діодів. Особливістю світлодіодів є їх здатність випромінювати світло при безпосередньому підключенні, коли струм тече від анода (+) до катода (-). Тому абревіатура LED означає світловипромінюючий діод (від англійського - light emitting diode).

У цій галузі є ефективне рішення, адаптоване до сучасних літаків, воно повинно враховувати, що пілот - це людина, реакція на той чи інший сигнал сприймається протягом певного періоду часу, а рішення і дії також впливають на час.

Світлодіоди-це різновид діодів. Особливістю світлодіодів є їх здатність випромінювати світло при безпосередньому підключенні, коли струм тече від анода (+) до катода (-). Тому абревіатура LED означає світловипромінюючий діод (від англійського - light emitting diode). При малій потужності величина світлового потоку на діоді така ж, як у лампи розжарювання з номінальною потужністю, що перевищує значення на світлодіоді в 7,6 рази.

Світлодіоди підвищують термін служби, надійність, температуру дотику, знижують енергоспоживання, вагу і витрати на технічне обслуговування. Мініатюризація світлодіодів та електроніки дозволяє нам створити нову архітектуру управління яскравістю, яка вирішує історичні проблеми втрати ваги, кількості компонентів та невідповідності яскравості між панелями. Лампи розжарювання що встановлені на борту літака МіГ-29 на сьогодення є досить застарілим способом освітлення кабіни льотчика. Через їх низький ресурс використання збільшуються використання ресурсів на такі видаткові матеріали як лампи в довгостроковій перспективі.

Заміна цих ламп на світлодіоди є досить перспективною ідеєю. Одним із найкращих і найпопулярніших виробників світлодіодів є компанія Cree, тому саме їхню продукцію можна використати задля покращення світлотехнічного обладнання. Для прикладу можна взяти на заміну ламп СМ28-0.05 світлодіод Cree COB LED 9C2B 9Вт.

Ці світлодіодні модулі виробляються за останньою технологією складання світлодіодних модулів Chip On Board (переклад: «чіп на борту» або просто COB). Технологія COB дозволила виготовляти модулі різних розмірів і форм (круглі, квадратні, прямокутні та інші), отримуючи таким чином максимальний рівномірний світловий потік від квадратного сантиметра. Попри те, що майже по всіх параметрах світлодіоди переважають лампи розжарювання, вони мають досить суттєвий недолік – висока температура при довгій експлуатації. Але цей недолік можна усунути дуже легко, потрібно встановити світлодіодний модуль на додатковий радіатор для компенсації його нагрівання. ампа розжарювання СМ28-0.05 призначена для освітлення кабіни літака і розрахована на роботу при зниженому атмосферному тиску і підвищеній вологості повітря до 98%. Вона експлуатується при номінальній напрузі. Допускається експлуатація ламп при напрузі, що відрізняється від номінального, при цьому тривалість горіння і світловий потік різко знижуються.

Провівши аналіз впливу світлотехнічного обладнання на безпеку польотів було виявлено, що для зменшення втомленості зору екіпажу оснащені приладними дошками , панелями і панелями кабіни матово - зеленого кольору, щоб зменшити час адаптації зору при переводі погляду з приладних дошок на зовнішні об’єкти при виконанні нічного польоту широко застосується червоне освітлення. Пропонується провести дослідження світлотехнічного обладнання літака-винищувача МіГ-29.

Провівши дослідження світлотехнічного обладнання літака-винищувача МіГ-29 було виявлено ряд недоліків, серед яких найбільш вагомим є низький ресурс використання нині встановленого освітлювального обладнання, що зменшує рівень безпеки польоту, а також підвищує витрати на ремонт повітряного судна. Для вирішення даних проблем пропонується інтегрування світлодіодних джерел освітлення на заміну старих ламп розжарювання.

Порівнявши характеристики цих двох джерел освітлення можна дійти до висновку, що світлодіод найбільш явно переважає в ресурсі використання, але є трішки дорожчим. Якщо розглядати в довгостроковій перспективі, то за той час, поки закінчиться ресурс світлодіода, то потрібно буде змінити 30 ламп розжарювання, що вийде в 8 разів дорожче.

Список використаних джерел:

1. Gordon, Y., & Davison, P. *Mikoyan Gurevich MiG-29 Fulcrum (Warbird Tech Series Vol. 41).* – Specialty Press, 2005. – 104 p.

2. Gröning, A. *The MiG-29: Russia's Legendary Air Superiority and Multirole Fighter, 1977 to the Present.* – Schiffer Publishing, 2018. – 144 p.

3. Wise, A. R. *MiG-29 Flight Manual.* – Schiffer Publishing, 2001. – 220 p.

4. Pied, R., & Deboeck, N. *Fulcrum. MiG-29 Variants in Air Forces around the World: Action, Cockpit, Fuselage, Weapons, Maintenance.* – HMH Publications (Duke Hawkins Series), 2018. – 140 p.

5. Gordon, Y. *Mikoyan MiG-29 (Famous Russian Aircraft Series).* – Midland Publishing, 2007. – 224 p.

Василенко Ема Констянтинівна *– слухач інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: konstantinovna0097@gmail.com*

Роман Васильович Древенчук *– викладач кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 21029, email: mailboy2009@gmail.com*

Vasilenko Emma Konstantinovna *– student from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: konstantinovna0097@gmail.com*

Roman Vasilyevich Drevenchuk *– lecturer, Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, email: mailboy2009@gmail.com*

УДК 629.7.069

Крук Р. Р., Доценко О. М., Хлоп'ячий В. А.

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ РОЗВІДУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ЛІТАКА ТАКТИЧНОЇ АВІАЦІЇ

Анотація. *У тезі розглянуто сучасні вимоги до розвідувального обладнання літаків тактичної авіації, визначено склад основних сенсорів та систем, їхнє призначення та принципи роботи. Обґрунтовано необхідність удосконалення структури комплексу в умовах сучасного бойового застосування. Запропоновано підходи до інтеграції оптико-електронних, радіотехнічних і інфрачервоних засобів у єдину систему. Наведено результати моделювання, які підтверджують зростання ефективності розвідки, та описано практичне значення запропонованих рішень.*

Ключові слова: *тактична авіація; розвідувальне обладнання; сенсори; інтеграція систем; удосконалення.*

Abstract. *The thesis considers modern requirements for reconnaissance equipment of tactical aviation aircraft. The structure, purpose, and operating principles of the main sensors and systems are presented. The need to improve the complex structure under modern combat conditions is substantiated. An approach is proposed to integrate electro-optical, radiotechnical, and infrared means into a single system. Modeling results confirm the increased efficiency of reconnaissance.*

Keywords: *tactical avжiation; reconnaissance equipment; sensors; system integration; improvement.*

Розвідувальні системи тактичної авіації є ключовим елементом сучасних бойових дій. Швидке поширення безпілотних літальних апаратів (БпЛА), засобів радіоелектронної протидії (РЕП) та розвитку мереже‑центричних операцій диктує нові вимоги до бортових сенсорів. Якість, достовірність і своєчасність отримання інформації безпосередньо впливають на результат виконання бойових завдань. Існуючі комплекси мають обмеження по дальності, спектру виявлення та завадостійкості. Тому розробка універсального, модульного інтегрованого комплексу розвідки для перспективних літаків є нагальною.

Розвідувальний комплекс має включати наступні основні блоки: оптико‑електронні системи високої роздільної здатності, РЛС бічного огляду (SAR/MTI модулі), інфрачервоні (ІЧ) сенсори з супутньою охолоджуваною та неохолоджуваною електронікою, системи радіотехнічної розвідки (SIGINT/ELINT), бортову обчислювальну систему (БОС) для попередньої обробки і кореляції даних, а також засоби захищеної передачі інформації в реальному часі. Ключова ідея – не лише фізично інтегрувати сенсори, а й створити єдину інформаційну мережу з розподіленою обробкою даних на борту та на землі.

Доцільно впровадити модульність конструкції: кожен сенсор виконаний у вигляді замінного блока (payload), що спрощує модернізацію та технічне обслуговування. Також слід передбачити резервування ключових елементів і можливість роботи в деградаційному режимі при часткових відмовах.

Окреме застосування сенсорів не дає повної картини ситуації: РЛС може бути пригнічена РЕБ або виявлена противником, оптичні системи обмежені погодою та освітленістю, інфрачервоні датчики – впливом теплового фону. Також обмеженням є пропускна здатність каналів передачі даних та затримки в мереже‑центричних ланцюгах.

Крім того, сучасні загрози вимагають гнучкості у виборі режимів роботи: від довготривалого спостереження великої площі до високоточних короткотривалих підходів для визначення локальних цілей.

Шляхи вдосконалення.

Основні напрями вдосконалення:

— Інтеграція сенсорів у єдину мережу з використанням стандартних інтерфейсів (даталінки, Ethernet‑ MIL‑ STD тощо).

— Використання адаптивних алгоритмів протидії РЕБ та технологій «low probability of intercept/low probability of detection» (LPI/LPD).

— Застосування алгоритмів штучного інтелекту для автоматичного виявлення, класифікації та пріоритезації цілей.

— Модульна апаратна архітектура з можливістю швидкої заміни/модернізації payload‑ блоків.

Додатково рекомендовано впроваджувати гібридні методи обробки: поєднання класичних статистичних алгоритмів з методами глибокого навчання для підвищення стійкості до нових типів завад і

маніпуляцій.

Результати моделювання та аналіз: Моделювання проводилось для низки сценаріїв: денне спостереження в умовах чистого неба, нічне спостереження з використанням ІЧ, робота в зоні інтенсивної РЕБ та комбіноване багатоспектральне спостереження. За результатами моделювання інтегрована система продемонструвала підвищення точності виявлення цілей у 1,5-2 рази порівняно з окремими сенсорами, а також зменшення рівня хибно‑позитивних спрацьовувань на 20-35%.

Більш детальний аналіз показав, що найбільшу вигоду дає комбінована обробка оптичних та ІЧ‑даних разом із SAR‑інформацією при погіршенні погодних умов: SAR забезпечує прорив крізь хмари, ІЧ — виявлення теплових аномалій, а оптика – точну геометричну ідентифікацію. В умовах РЕБ системи адаптивної фільтрації та алгоритми виявлення сигналів суттєво підвищують шанси на коректну класифікацію.

При моделюванні також оцінювалася енергетична ефективність і навантаження на канали зв'язку. Застосування edge‑обробки зменшило потребу в передачі сирих даних до наземних пунктів на 60-80%, залишаючи для передачі тільки пріоритетні повідомлення й короткі витяги з результатів розпізнавання.

Практичне значення.

Запропонована архітектура може бути використана при проектуванні нових розвідувальних платформ, у тому числі для модернізації існуючих літаків (наприклад Су-27/МіГ-29) або інтеграції у інші платформи та БпЛА. Переваги включають підвищення оперативності прийняття рішень, зменшення втрат у бойових діях завдяки точнішій розвідці та підвищену живучість системи в умовах активного електронного спротиву.

Висновки.

Вдосконалена структура та склад розвідувального обладнання перспективного літака тактичної авіації дозволяє суттєво підвищити ефективність розвідки. Інтеграція сенсорів у єдину систему, застосування сучасних алгоритмів обробки і аналізу даних підвищують завадостійкість та оперативність прийняття рішень. Модульність, використання ШІ та edge-обробки забезпечують гнучкість та працездатність у різних умовах застосування.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на апробацію розроблених алгоритмів у польотних випробуваннях, оцінку стійкості до спеціалізованих типів РЕБ та оптимізацію архітектури каналів зв'язку.

Список використаних джерел:

1. Гладких І. М. Системи розвідки та спостереження в авіації: навч. посібник. — Київ: НАУ, 2021. — 228 с.
2. Кузнєцов В. О., Мороз С. Г. Бортові комплекси тактичної авіації: сучасний стан та перспективи розвитку // Наука і оборона. — 2020. — № 2. — С. 45–53.
3. NATO Standardization Office. STANAG 4607: NATO Ground Moving Target Indicator Format. — Brussels: NATO, 2019.
4. Литвиненко О. В. Штучний інтелект у системах обробки інформації військового призначення. — Київ: НУОУ, 2023. — 180 с.
5. Самойленко О.В., Богославець С.О., Хлоп’ячий В.А. Обґрунтування шляхів інтеграції безпілотних авіаційних комплексів в автоматизовані системи управління військами за стандартами НАТО //Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації. – 2022. – №18(25). – С. 218-226.
6. Хлоп’ячий В.А., Кібіткін С.О., Акименко К.В. Напрямки розвитку безпілотної авіації як сучасного засобу збройної боротьби// Науково-практична конференція інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба —Безпілотна авіація у сучасній збройній боротьбі” 7 грудня 2023 року. – Х.: ХНУПС ім І. Кожедуба, 2023. – 118 с. С. 34–35

Крук Роман Русланович *– Харківський національний університет Повітряних Сил імені. Івана Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email: romanyil8558@gmail.com;*

Доценко Олег Миколайович *– Харківський національний університет Повітряних Сил імені. Івана Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email: oleg.dotsenko7@gmail.com;*

Хлоп’ячий Вячеслав Анатолійович *– Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, професор кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів,*

Харків, Україна; email: 0674648530@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4038-9551.

Kruk Roman Ruslanovich *– Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, student of 262C training group, Kharkiv, Ukraine; email: romanyil8558@gmail.com;*

Dotsenko Oleg Mykolayovych *– Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, student of 262C training group, Kharkiv, Ukraine; email: oleg.dotsenko7@gmail.com;*

Khlopyachyi Vyacheslav Anatoliyovych *– Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Professor, Department of Aviation Equipment of Airplanes and Helicopters, Kharkiv, Ukraine; email: 0674648530@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4038-9551*

УДК 629.7.066

Красноруцький А. О., Бовкун А. Р.

АНАЛІЗ ЗАВДАНЬ ТА НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ АВТОНОМНОСТІ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація. *У тезі наведено аналіз основних завдань, які стоять перед навігаційними системами безпілотних літальних апаратів (БПЛА), та визначено основні напрямки підвищення їх автономності. Розглянуто вимоги до архітектури автономних навігаційних рішень, класи методів корекції позиціонування, а також питання забезпечення стійкості до радіоелектронних перешкод. Окрему увагу приділено критеріям оцінки автономності та практичним напрямкам їх підвищення: інтеграція мультисенсорних каналів, алгоритми злиття даних, адаптивні стратегії навігації і алгоритми самокалібрування. Представлені рекомендації щодо вибору технічних засобів і алгоритмічних підходів для забезпечення безпечного та надійного виконання завдань розвідки й ударного застосування в умовах глушіння супутникових систем.*

Ключові слова: *автономна навігація; БПЛА; інерційна навігація; оптико-електронні системи; комплексування даних; радіоелектронна боротьба; стійкість позиціонування.*

Abstract. *The thesis provides an analysis of the main tasks facing navigation systems of unmanned aerial vehicles (UAVs), and identifies the main directions for increasing their autonomy. The requirements for the architecture of autonomous navigation solutions, classes of positioning correction methods, as well as the issue of ensuring resistance to radio-electronic interference are considered. Special attention is paid to the criteria for assessing autonomy and practical directions for their improvement: integration of multi-sensor channels, data fusion algorithms, adaptive navigation strategies and self-calibration algorithms. Recommendations are presented for the selection of technical means and algorithmic approaches to ensure the safe and reliable performance of reconnaissance and strike missions in conditions of satellite system jamming.*

Keywords: *autonomous navigation; UAV; inertial navigation; electro-optical systems; data fusion; electronic warfare; positioning robustness.*

Основні положення та класифікація рівнів автономності навігаційних систем БПЛА
Виділяють наступні функціональні рівні автономності навігаційних систем, які розробники й оператори планують застосовувати в різних класах БПЛА:

1-й (базовий) рівень: забезпечення позиціонування та курсового контролю з використанням комбінованих GNSS/ІНС рішень з базовою обробкою сигналів; система допускає короткочасні втрати зовнішнього сигналу, але не забезпечує самостійного виконання місії при тривалому глушінні;

2-й рівень: інтеграція локальних оптико-електронних сенсорів (телевізійний/тепловізійний канал) та алгоритмів візуальної одометрії для корекції ІНС; система здатна продовжувати виконання маршруту протягом середнього проміжку часу без GNSS;

3-й (просунутий) рівень: мультисенсорне комплексування (ІНС + ОЕС + локальні цифрові карти місцевості + радар), адаптивні алгоритми злиття даних і самооцінки помилки; система гарантує виконання місії в умовах тривалої відсутності зовнішніх джерел та в умовах інтенсивної РЕБ.

Завдання, які вирішуються в межах підвищення автономності:

- забезпечення безперервності та точності позиціонування в умовах GNSS-денаїнелінгу;
- зниження вразливості до радіоелектронних перешкод і цілеспрямованого глушіння;
- підвищення часового ресурсу виконання завдань без зв'язку зі станцією управління;
- забезпечення надійної навігації при обмеженій видимості та складному рельєфі.

Методи та технології, що підвищують автономність навігації
Для підвищення точності й стійкості автономної навігації доцільно реалізувати наступний набір технічних і алгоритмічних рішень:

- комплексування інерційних навігаційних систем (ІНС) з оптико-електронними системами (ОЕС) для візуальної корекції дрейфових похибок;
- використання локальних цифрових карт місцевості (ЦКМ) і методів совпадіння зображення/карти (map-matching) для позиціонування у відсутності GNSS;
- впровадження алгоритмів мультисенсорного злиття даних (Kalman-filter, particle-filter, factor-graph), що враховують статистичні моделі похибок і адаптивно корегують ваги сенсорів у реальному часі;

- застосування радарних та радіолокаційних каналів для забезпечення незалежного від оптики зчитування інформації в складних метеоумовах;

- реалізація методів самооцінки становища та самокалібрування сенсорів для збереження працездатності при деградації обладнання;

- резервування каналів позиціонування (інерційні датчики різних класів, локальні маяки, оптичні маяки) та програмні стратегії переходу між режимами навігації.

- Вимоги до апаратно-програмної архітектури автономних навігаційних систем При проєктуванні навігаційних систем слід врахувати такі вимоги:

1. Маса та енергоспоживання модулів – повинні відповідати класовим обмеженням БПЛА;

2. Точність і стабільність ІНС – допустимий дрейф між корекціями;

3. Швидкість і надійність обробки даних – можливість реального часу для алгоритмів злиття;

4. Інтерфейсна сумісність з бортовими ОЕС і платформи керування польотом;

5. Можливість оновлення алгоритмів та картографічних даних у польових умовах.

Практичні рекомендації та напрямки досліджень

6. Пріоритезація мультисенсорної архітектури: поєднання ІНС + ОЕС + локальні карти дає найбільший приріст стійкості позиціонування в умовах GNSS-заглушення.

7. Розробка легких гіростабілізованих платформ для оптичних сенсорів та підвищення точності їхнього прив'язування до ІНС.

8. Впровадження адаптивних фільтрів з можливістю зміни структурної моделі залежно від режиму польоту та якості вхідних даних.

9. Дослідження алгоритмів швидкого відновлення позиції після тривалих втрат зовнішніх джерел (relocalization) з використанням попередніх маршрутів та локальних орієнтирів.

10. Оцінка ефективності систем за критеріями: середня та максимальна позиційна похибка, час самостійної роботи без GNSS, ймовірність втрати контролю у сценаріях інтенсивної РЕБ.

Список використаних джерел:

1. Клімішен О. О., Краснорyцький А. О., Кочук С. Б. Застосування технологій бездротового зв'язку й технічного зору для вдосконалення авіаційних операцій пошуку та рятування. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2023. № 2 (24). С. 32–42.

2. Клімішен О. О., Краснорyцький А. О. Впровадження систем технічного зору до складу бортового обладнаня сучасних гелікоптерів // Актуальні проблеми бойового застосування, експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки. – 2024. – С. 22-24.

Краснорyцький Андрій Олександрович *– кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету, e-mail: krasnorycki@ukr.net, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4318-2217, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, вулиця Динамівська 3а, м. Харків, 61023.*

Бовкун Андрій Романович – *слухач, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: andriy13bovkun@gmail.com*

Krasnorutskyi Andriy Oleksandrovych – *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Aviation Equipment of Airplanes and Helicopters, Faculty of Aviation Engineering, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 3a Dynamivska St., ind. 61023, email: krasnorycki@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000-0002-4318-2217*

Bovkun Andriy Romanovych – *student, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: andriy13bovkun@gmail.com*

УДК 629.7.069

Меланчук О. Д., Горбенко В. С., Лиходєєв О. С.

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ АВІАЦІЙНИХ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Анотація: *в даній тезі розглянуто актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту авіаційних статичних перетворювачів.*

Ключові слова: *авіаційна техніка(АТ),статичний перетворювач, бортові системи, електронні системи.*

Abstract: *This thesis considers current problems of combat use and operation and repair of aviation static converters.*

Keywords: *aviation technology (AT), static converter, onboard systems, electronic systems.*

Війна в Україні висвітлила низку серйозних проблем, які виникають у процесі бойового застосування та експлуатації авіаційної техніки, зокрема статичних перетворювачів напруги (СПН). Ці компоненти є важливими для забезпечення стабільної роботи бортових систем, таких як авіоніка, управління двигунами, системи зв'язку та озброєння. В умовах інтенсивних бойових дій та постійних атак на інфраструктуру, техніка Збройних сил України стикається з унікальними викликами в області надійності, ремонтопридатності та логістики авіаційного обладнання.

Проблеми бойового застосування та експлуатації:

Однією з основних проблем є вплив бойових навантажень на авіаційну техніку, що супроводжуються вібраціями, перепадами температур і механічними ударами. Це може призвести до швидкої деградації компонентів статичних перетворювачів. Водночас, статичні перетворювачі повинні працювати в умовах підвищених електромагнітних перешкод, що виникають через активне використання радіоелектронної боротьби (РЕБ), а також завдяки роботі інших бортових систем, таких як радіолокаційні станції та системи радіозв'язку.

Іншою важливою проблемою є нестабільна постачальницька база та дефіцит необхідних комплектуючих для ремонту авіаційних перетворювачів. На тлі інтенсивних бойових дій в Україні виникають труднощі з поставками нових компонентів і збереженням запасних частин. Залишкові ресурси перетворювачів обмежені, а процес ремонту часто ускладнюється відсутністю відповідного обладнання для точного калібрування і тестування в польових умовах.

Проблеми ремонту та логістики:

Однією з критичних проблем є забезпечення ефективного ремонту техніки в умовах фронтової зони. Для підтримки високої боєздатності авіаційної техніки необхідно розробити швидкі, надійні і недорогі методи відновлення статичних перетворювачів. Оскільки в умовах бойових дій складно забезпечити доступ до спеціалізованих ремонтних майстерень, особливо на передовій, потрібно розробити стандартні процедури і засоби для польових ремонтів. Наприклад, прості мобільні стенди для тестування та заміни модулів, які можуть бути швидко замінені без додаткового інструменту.

Вплив на технічну готовність авіації:

Війна в Україні показала, наскільки важливою є надійність бортових систем, що пов'язані з авіаційними статичними перетворювачами, оскільки вони безпосередньо впливають на бойову здатність авіаційної техніки. Проблеми з електроживленням можуть спричинити відмови критичних систем, що в свою чергу може призвести до втрат техніки або навіть екіпажу. Водночас, технічна готовність та ремонтопридатність перетворювачів значно покращуються, якщо вживаються своєчасні заходи щодо підготовки технічного персоналу, що включають як навчання з експлуатації, так і оперативного ремонту.

Рекомендації та перспективи:

Ураховуючи актуальні проблеми, важливо зосередитися на кількох ключових напрямках. Це включає стандартизацію процедур діагностики та ремонту авіаційних систем, а також наявність достатнього запасу стандартних компонентів для заміни. Модульний підхід у конструкції перетворювачів дозволить зменшити час ремонту та підвищити ефективність використання техніки в умовах бойових дій. Крім того, розвиток мобільних діагностичних засобів для польового ремонту та впровадження ефективних методів контролю електричних параметрів допоможе забезпечити стабільність роботи бортових систем.

Загалом, для збереження високої боєздатності авіаційної техніки Збройних сил України необхідно вдосконалювати процеси технічного обслуговування та підвищувати надійність електронних систем, що забезпечують безперебійну роботу авіації в умовах війни.

Список використаних джерел:

1. Якименко А.М. –Авіаційні електронні системи: Технічні аспекти та проблеми експлуатації”. – Київ, 2020.
2. Сидоренко, В. І. "Авіаційні системи: методи діагностики та ремонту." — Харків, 2017.
3. Степаненко, О. О. "Технічні аспекти ремонту та обслуговування авіаційних систем." — Харків, 2020
4. Зєнович О.Є., Кривонос В.М. –Системи електропостачання повітряних суден”. Навчальний посібник - Х: ХНУПС, 2021.

Меланчук Олександр Дмитрович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email: nezalezhnyi@gmail.com;*

Горбенко Віталій Сергійович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email: vitaliygorbenko791@gmail.com.*

Лиходєєв Олександр Сергійович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету, Харків, Україна; email: lihas2201@gmail.com*

Melanchuk Oleksandr Dmytrovych *– Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, student of 262C training group, Kharkiv, Ukraine; email: nezalezhnyi@gmail.com;*

Gorbenko Vitaliy Serhiyovych *– Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, student of 262C training group, Kharkiv, Ukraine; email: vitaliygorbenko791@gmail.com.*

Likhodeev Oleksandr Serhiyovych *– Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Aviation Equipment of Airplanes and Helicopters, Faculty of Aviation Engineering, Kharkiv, Ukraine; email: lihas2201@gmail.com*

УДК 623.746

Сосулін М. В., Погребний О. Ю., Омельченко В. Ю., Педорич А. С.

ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ РОЗВИТКУ ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМ БОЙОВОГО ВЕРТОЛЬОТУ

Анотація: *у роботі розглянуто сучасні підходи дослідження характеристик тепловізійних систем бойових вертольотів. Запропоновано методику оцінювання ефективності систем за параметрами чутливості, просторової роздільної здатності та стабільності зображення. Визначено перспективні напрямки вдосконалення, серед яких – інтеграція багатоспектральних сенсорів та впровадження інтелектуальних алгоритмів оброблення відеосигналу.*

Ключові слова: *тепловізійна система, бойовий вертоліт, інфрачервоний діапазон, роздільна здатність, чутливість, багатоспектральна оптика.*

Annotation: *the paper examines modern approaches to the study of the characteristics of thermal imaging systems for combat helicopters. A methodology for evaluating system performance based on sensitivity, spatial resolution, and image stability parameters is proposed. Promising directions for improvement are identified, including the integration of multispectral sensors and the implementation of intelligent video signal processing algorithms.*

Key words: *thermal imaging system, combat helicopter, infrared range, resolution, sensitivity, multispectral optics.*

Сучасні бойові вертольоти дедалі частіше оснащуються тепловізійними системами спостереження та наведення, які забезпечують ефективне виконання бойових завдань у складних метеоумовах, особливо вночі.

Ефективність застосування таких систем безпосередньо залежить від їхніх технічних характеристик, зокрема спектрального діапазону, просторової роздільної здатності, чутливості детекторів та алгоритмів оброблення зображень.

Метою даної роботи є визначення шляхів дослідження характеристик перспективних тепловізійних систем для бойових вертольотів, з урахуванням сучасних тенденцій розвитку інфрачервоної техніки та вимог до авіаційних приладів виявлення та розпізнавання.

У роботі запропоновано методику оцінювання тепловізійних систем, яка передбачає моделювання реальних умов бойового застосування. Основна увага приділяється аналізу характеристик детекторних матриць (InSb, MCT, VOx), оцінюванню шумової температурної еквівалентності (NETD) та впливу алгоритмів цифрової фільтрації на розпізнавання об’єктів, які включають покращення якості інфрачервоного (ІЧ) зображення, виявлення, розпізнавання та класифікацію об’єктів у тепловому полі, автоматичну оцінку технічних параметрів тепловізора (роздільної здатності, чутливості, шумів тощо), адаптацію системи до змінних умов середовища (температура, фон, завади).

Розглянуто можливості інтеграції тепловізійних систем із системами стабілізації та автоматичного наведення. Визначено, що перспективним напрямом розвитку є використання багатоспектральних сенсорів, здатних поєднувати тепловізійний, телевізійний та лазерний канали в єдиному інформаційному полі.

Перспективні напрями розвитку тепловізійних систем бойових вертольотів полягають у впровадженні багатоспектральних сенсорів, здатних об’єднувати тепловізійний (інфрачервоний), телевізійний (оптичний) та лазерний канали в єдиному інформаційному полі. Така інтеграція забезпечує комплексне сприйняття обстановки, підвищує точність розпізнавання та ідентифікації цілей, а також дозволяє ефективніше працювати в умовах диму, пилу, туману та низької освітленості. Використання багатоспектральних систем сприяє створенню алгоритмів інтелектуальної обробки характеристик тепловізійних систем виявлення та розпізнавання, які можуть автоматично адаптувати параметри роботи сенсорів залежно від зовнішніх умов і типу об’єкта, що спостерігається.

Отримані результати можуть бути використані під час модернізації авіаційних приладів спостереження, створення нових комплексів прицілювання та розроблення алгоритмів автоматизованого аналізу зображень.

Список використаних джерел

1. Holst, *G. C.* Electro-Optical Imaging System Performance. *SPIE Press, 2006.*
2. Budzier, H., Gerlach, *G.* Thermal Infrared Sensors: Theory, Optimisation and Practice. John Wiley & Sons, 2011.
3. Воробйов С.І., Бондаренко В.М. "Аналіз сучасних тепловізійних систем військової авіації." Наука і оборона, №2, 2023, с. 45–52.
4. Куліш В.П., Сидоренко І.Г. Інфрачервоні системи спостереження та наведення. Київ: НАУ, 2022.
5. U.S. Department of Defense. Helicopter Electro-Optical/Infrared Systems Performance Evaluation Handbook. DoD Publication, 2020.

Сосулін Михайло Володимирович *– викладач кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків ORCID https://orcid.org/0009-0008-5720-3374 Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Погребний Олександр Юрійович *– здобувач вищої освіти ступеня магістр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.ХарківХарківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Омельченко Вадим Юрійович *– здобувач вищої освіти ступеня бакалавр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Педорич Антон Сергійович *– здобувач вищої освіти ступеня бакалавр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Mykhailo Sosulin *– senior lecturer of the Department of Aviation Weapons Complexes, aozhnups@gmail.com, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023. ORCID https://orcid.org/0009-0008-5720-3374*

Oleksandr Pohrebnyi *– higher education applicant with a master's degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

Vadim Omelchenko *– higher education applicant with a bachelor's degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

Anton Serhiyovych Pedorich *– higher education candidate with a bachelor's degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

Pedorich Anton *– higher education applicant with a bachelor's degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

УДК 623.4

Баюн О. С., Керест Д. О.

АНАЛІЗ АВІАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ З БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПЕРШОГО КЛАСУ

Анотація: *У роботі проведено аналітичний огляд сучасних тенденцій застосування авіаційних засобів ураження АЗУ з безпілотних літальних апаратів БпЛА першого класу. Досліджено технічні характеристики основних моделей БпЛА, класифікацію та особливості боєприпасів, що використовуються. На основі аналізу бойового застосування під час російсько-української війни визначено основні типи АЗУ, їх переваги, недоліки та перспективи вдосконалення.*

Ключові слова: *безпілотні літальні апарати, БПЛА першого класу, авіаційні засоби ураження, малокаліберні авіабомби, ураження цілей, мережевоцентричні системи, безпілотні платформи.*

Annotation: *the paper presents an analytical review of current trends in the use of air-to-surface munitions with Class I unmanned aerial vehicles UAVs. The study examines the technical characteristics of the main UAV models, classification and features of the munitions used. Based on the analysis of combat use during the Russian-Ukrainian war, the main types of munitions, their advantages, disadvantages and prospects for improvement are identified.*

Key words: *unmanned aerial vehicles, Class I UAVs, air-to-surface munitions, small-caliber aerial bombs, target engagement, network-centric systems, unmanned platforms.*

Сучасні бойові дії демонструють зростаючу роль безпілотних літальних апаратів БпЛА у веденні військових операцій. Одним із ключових факторів ефективності цих апаратів є використання авіаційних засобів ураження АЗУ, які дозволяють наносити точні удари по противнику. Застосування БпЛА першого класу для ударних завдань потребує аналізу можливих типів боєприпасів, їх характеристик та адаптації до специфічних умов експлуатації [1].

Метою роботи є узагальнення сучасних тенденцій застосування авіаційних засобів ураження з БпЛА першого класу, зокрема на основі досвіду російсько-української війни, та визначення основних проблем і перспектив їх розвитку.

Відповідно до стандартів НАТО, БпЛА першого класу мають повну злітну масу до 150 кг.

Ця категорія поділяється на мікро – до 2 кг. міні – до 15 кг та малі – від 15 кг до 150 кг. Найбільш поширеними моделями, адаптованими для ударних завдань, такі зразки:

DJI Mavic 3 Mavic 3T / Mavic 3 Pro легкі комерційні квадрокоптери, оснащені системами скидання на базі 3D-друку для застосування гранат (ВОГ-17, РГД-5) та малокаліберних боєприпасів [2].

DJI Matrice 300 / Matrice 350 потужніші комерційні платформи з підвищеною автономністю та вантажопідйомністю, здатні нести мінометні міни калібру 82 мм та кумулятивні снаряди [3].

DJI Agras T30 / T40 сільськогосподарські дрони з високою вантажопідйомністю (до 40-90 кг), переобладнані для скидання мінометних мін (120 мм) та касетних боєприпасів[4].

R18 Спеціалізований ударний БПЛА української розробки, здатний нести до 5 кг корисного навантаження [5].

Основні тактико-технічні характеристики цих БпЛА.

Характеристики БпЛА	Mavic 3T	Matrice 300	Agras T30	R 18
Маса, кг	0,92	3,6	26,4	6 ,45
Макс. злітна маса, кг	7,9	9	78	1 7
Вантажопідйомність, кг	до 1,5	до 2,7	до 30-40	д о 5

Характеристики БпЛА	Mavic 3T	Matrice 300	Agras T30	R 18
Тривалість польоту, хв	45	55	20,5	45
Дальність польоту, км	32	15	7	4

Перевагами цих платформ є компактність, мобільність та відносна дешевизна. Основними обмеженнями залишаються мала дальність дії, обмежена вантажопідйомність та вразливість до засобів радіоелектронної боротьби РЕБ[6].

АЗУ, що застосовуються з БПЛА, АО-1СЧ осколкова бомба масою 1,2 кг для ураження живої сили та легко броньованої техніки.АО-2,5 РТ: Осколково-фугасний суббоєприпас масою 2,5 кг з касетних бомб. ШОАБ-0,5 кулькова осколкова бомба масою 0,5 кг. ПТАБ- 1М кумулятивний протитанковий боєприпас масою 0,92 кг [7].

Основні характеристики цих боєприпасів.

Характеристики АБ	АО-1СЧ	АО-2,5 РТ	ПТАБ-1М	ШОАБ-0,5
Маса, кг	1,2	2,5	0,92	0,5
Довжина, мм	153	150	325	190-200
Маса ВР, г	38	400-500	450-480	70

Аналіз бойового досвіду дозволяє виокремити наступні тенденції: Інтеграція у мережевоцентричні системи: БпЛА з АЗУ все частіше діють не ізольовано, а як частина єдиного інформаційного контуру, отримуючи цілевказання від інших розвідувальних платформ.

Масове переобладнання цивільних та комерційних платформ під вимоги поля бою свідчить про високу гнучкість та інноваційність. Акцент на дешевизну та масовість використання доступних неспеціалізованих боєприпасів дозволяє створювати масовані "дрони-атаки".

БпЛА першого класу стали важливим носієм точної зброї на сучасному полі бою, демонструючи високу ефективність при ураженні живої сили, легкоброньованої та навіть важкої техніки противника.

Основним типом АЗУ для них є неспеціалізовані малокаліберні авіабомби калібром від 0,5 до 2,5 кг, що обумовлено їх доступністю та відповідністю обмеженій вантажопідйомності дронів.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку стандартизованих інтерфейсів "носій-боєприпас" та вдосконалення алгоритмів колективної взаємодії роїв БпЛА.

Список використаних джерел:

1. Тактика застосування безпілотних повітряних суден в охороні державного кордону : навч. посіб. / О. Л. Луцький, С. Я. Білявець, В. І. Якубовський, О. Г. Резнік та ін.; за ред. О. Л. Луцького ; М-во внутр. справ України, Нац. акад. держ. прикордон. служби України ім. Б. Хмельницького. — Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2023. — 164

2. DJI Mavic 3 Enterprise Series. Посібник користувача. Версія 2.0 [Електронний ресурс]. — DJI, 2025. — 120 с. — Режим доступу: https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mavic_3_Enterprise/DJI_Mavic_3E_3T_User_Manual_EN.pdf (дата звернення: 06.05.2025).

3. DJI Matrice 300 RTK. Посібник користувача. Версія 4.0 [Електронний ресурс] DJI, 2023. — 120 с. — Режим доступу: https://dl.djicdn.com/downloads/matrice300/20230518UM/M300_RTK_User_Manual_EN_v4.0.pdf

4. DJI Agras T30. Посібник користувача. Версія 1.6 [Електронний ресурс]. — DJI, 2023. — 120 с. — Режим доступу: https://dl.djicdn.com/downloads/t30/all_update/T30_User_Manual_v1.6_en_new.pdf

5. Ігнатова І. Ударний дрон R18: технічні характеристики та особливості [Електронний ресурс] // Факти ICTV. — 2024. — 4 січня. — Режим доступу: https://fakty.com.ua/ua/ukraine/20240104-udarnyj-dron-r18-tehnichniharakterystyky-ta-osoblyvosti/

6. ТТХ боєприпасів, для застосування з БПЛА. Перелік суббоєприпасів. ТЛГ Вих.№350/154/1378/пс/дск від 24.03.2024 року

7. Jenzen-Jones, N.R., Senft, P., & Lyamin, Y. Cluster Munitions & Submunitions in Syria: A Technical Appraisal. Special Report No. 5 [Електронний ресурс]. — Armament Research Services (ARES), November 2023. — Режим доступу: https://armamentresearch.com/ares-releases-special-report-5-cluster-munitions-submunitions-in-syria.

8. Geneva International Centre for Humanitarian Demining (GICHD). Вибухові боєприпаси: посібник для України. Перше видання [Електронний ресурс]. — Спротив Г7. — Режим доступу: https://sprotyvg7.com.ua/lesson/vibuxovi-boyepripasi-posibnik-dlya-ukraini

Баюн Олександр Сергійович *- здобувач вищої освіти ступеня магістер кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Керест Даніїл Олексійович *- здобувач вищої освіти ступеня магістер кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Oleksandr Bayun*– higher education applicant with a master degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

Danilo Kerest*– higher education applicant with a master degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

УДК 623.4

Семенюк А. М., Поліщук Д. М.

ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ УРАЖЕННЯ АВІАЦІЙНИХ ДРОНІВ КАМІКАДЗЕ З НОСІЯ ПОВІТРЯНОГО БАЗУВАННЯ

Анотація: *у тезі розглянуто сучасні підходи до доцільності застосування та можливостей ураження авіаційними дронами камікадзе з носія повітряного базування. Виходячи з орієнтовних характеристик, доцільно дослідити можливості інтеграції таких засобів у авіаційні системи та існуючі технології Оцінено тактико-технічні переваги та обмеження, ефективність ураження цілей, а також ключові проблеми інтеграції таких систем у сучасні авіаційні тактичні структури.*

Ключові слова: *дрони, бойові платформи. БпЛА-камікадзе, повітряне базування, тактичне застосування, роєве управління, протиповітряна оборона*

Annotation: *the thesis considers modern approaches to the feasibility of using and possibilities of defeating kamikaze aircraft drones from an air-based carrier. Based on the indicative characteristics, it is advisable to investigate the possibilities of integrating such means into aviation systems and existing technologies. The tactical and technical advantages and limitations, the effectiveness of defeating targets, as well as the key problems of integrating such systems into modern aviation tactical structures are assessed.*

Keywords: *drones, combat platforms. kamikaze UAV, air-based, tactical application, swarm control, air defense.*

За сучасних умов інтенсивного розвитку безпілотних літальних апаратів, зокрема дронів камікадзе, виникає необхідність системної оцінки їхнього застосування та засобів протидії. Особливу увагу слід звернути на бойові платформи, що запускають такі боєприпаси з повітря — зокрема вертольоти та великі безпілотні носії. На відміну від традиційних авіаційних боєприпасів, дрони камікадзе можуть тривалий час патрулювати задану зону й чекати ідентифікації цілі, що змінює вимоги до виявлення, наведення й моменту ураження. Виходячи з орієнтовних характеристик (автономність 45–120 хв та робоча дальність 30–100 км), доцільно дослідити можливості інтеграції таких засобів у авіаційні системи та існуючі технології наведення.

Тактичні і технічні переваги повітряного базування

1. Збільшення радіусу дії та швидкості виходу на ціль.
2. Гнучкість вибору маршруту підльоту.
3. Покращене цілевиявлення і наведення.
4. Масштабування дій — роєве застосування. Обмеження та ризики
1. Ризик для носія.
2. Електронні перешкоди (РЕБ).
3. Логістика та інтеграція. Можливості ураження цілей

БпЛА-камікадзе з повітряного носія ефективні проти рухомих наземних цілей високої вартості, критичної інфраструктури та засобів ППО. Групові атаки дозволяють нейтралізувати декілька об’єктів або перевантажити системи ППО.

Тактичні сценарії застосування

1. Передовий авіаційний удар у глибокому тилу.
2. Підтримка наступальної операції.
3. Антирезервні операції та демонстрація сили.

Рекомендації щодо підвищення ефективності

- Розробка стійких автономних режимів керування.
- Інтеграція систем розвідки та обміну даними.
- Модульна конструкція боєзаряду.
- Тактичне використання «роїв».

– Забезпечення логістики і технічної підтримки.

Рекомендується провести поглиблений аналіз з мінімізацією додаткових витрат часу й коштів для прискореного впровадження практичних рішень.

Список використаних джерел:

1. *Чернов Д., Вплив використання БпЛА на воєнні дії. 2024.*
2. *В.і. Нікітченко, Р.М. Олійник, Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки 2023.*
3. *О.Л. Луцький, С.Я.Білявець, В.І.Якубовський. "тактика застосування безпілотних повітряних суден в охороні державного кордону." 2023*
4. Кузьменко О. В. Сучасні тенденції розвитку безпілотних авіаційних комплексів. – К.: НАУ, 2022.
5. Dronov A., et al. Air-Launched Loitering Munitions: Tactical Integration and Future Trends. – Defense Studies Journal, 2023.
6. Ільченко С. П., Технічні аспекти застосування авіаційних дронів-камікадзе. – Харків: ХАІ, 2024.
7. Brown M., Swarm Intelligence and Aerial Warfare. – Cambridge University Press, 2021.
8. NATO Research & Technology Organization. Autonomous Air Weapons and Legal Challenges. – RTO Report, 2023.

Семенюк Андрій Михайлович *– старший викладач кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків ORCID https://orcid.org/0000-0001-7562-0528 Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Поліщук Дмитро Миколайович *– здобувач вищої освіти ступеня магістр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Semeniuk Andrii Mykhailovych *– Senior Lecturer, Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub, Kharkiv Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub, Sumska 77/79, 61023.*

Polishchuk Dmytro Mykolayovych *– Higher Education Master's Degree Candidate, Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub, Kharkiv Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub, Sumska 77/79, 61023.*

УДК 623.4

Воронін А. В., Йонка О. І., Савєльєв Я. В., Гармаш С. О.

ДОСЛІДЖЕННЯ БОЙОВИХ ЧАСТИН АВІАЦІЙНОГО КЕРОВАНОГО ЗАСОБУ УРАЖЕННЯ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ЗНИЩЕННЯ МАЛО-ШВИДКІСНОЇ ПОВІТРЯНОЇ ЦІЛІ НА МАЛИХ ТА СЕРЕДНІХ ВИСОТАХ

***Анотація**. У роботі проведено аналітичний розгляд сучасних підходів до проєктування бойових частин (БЧ) авіаційних керованих засобів ураження (АКЗУ) з урахуванням особливостей ураження мало-швидкісних повітряних цілей на малих та середніх висотах. Розглянуто класи БЧ, їхні функціональні вимоги, критерії ефективності, а також вплив платформи-носія, систем наведення і зовнішніх факторів (метеоумови, перешкоди). Наголошено на необхідності балансування між ефективністю ураження, безпекою застосування та вимогами сумісності з засобами керування й обмеженнями щодо розповсюдження технологій. Запропоновано підхід до оцінювання ефективності на рівні системних сценаріїв (симуляції та експериментальні дослідження в неконструктивному форматі) і сформульовано рекомендації для подальших досліджень та випробувань.*

***Ключові слова**: бойова частина; авіаційний керований засіб ураження; мало-швидкісна повітряна ціль; малі та середні висоти; ефективність ураження; системна оцінка; безпека застосування; сумісність.*

***Annotation**. This paper presents an analytical review of contemporary approaches to the design and assessment of warheads for aerial guided munitions aimed at effectively neutralizing low-speed airborne targets at low and medium altitudes. The study examines functional classes of warheads, performance requirements, and evaluation criteria, and analyses the influence of carrier platform, guidance subsystems, and environmental factors (meteorological conditions, electronic interference). Emphasis is placed on balancing lethality, safety, and interoperability with guidance and control systems while respecting legal and ethical constraints. A conceptual methodology is proposed that combines theoretical modeling, scenario-based simulation, and controlled (non-constructive) validation to assess aggregated measures of effectiveness across operational scenarios. The paper outlines high-level recommendations for future research, including methods to reduce collateral effects, enhance robustness under electronic countermeasures, and establish rigorous ethical and legal testing frameworks.*

***Key words**: warhead; aerial guided munition; low-speed airborne target; low and medium altitudes; lethality assessment; system-level evaluation; safety and compliance.*

Підвищення загрози з боку мало-швидкісних повітряних платформ (наприклад, малого класу БПЛА, безпілотних гелікоптерів чи інших літальних апаратів малого швидкісного діапазону) створює потребу в адаптації авіаційних керованих засобів ураження. Ключовим елементом, що визначає тактичну придатність АКЗУ у таких ситуаціях, є бойова частина — її конструкція, тип підривання/активації, ефективність розповсюдження уражаючих факторів, і сумісність з платформою-носієм та системою наведення. Метою роботи є системний огляд вимог і підходів до розробки та оцінки БЧ для ефективного ураження мало-швидкісних цілей на малих та середніх висотах при збереженні етичних та безпекових обмежень.

Аналіз сучасних наукових та технічних публікацій (огляд загальних трендів) демонструє кілька напрямів розвитку: розмаїття типів ураження (фрагментація, кумулятивні, енергетичні, нефатальні/інтелектуальні варіанти), інтеграція з сенсорними підсистемами платформи-носія, адаптивні алгоритми активації БЧ в залежності від режиму польоту цілі, та зростання уваги до мінімізації колатеральних ризиків. Сучасні підходи також підкреслюють важливість випробувань у моделях середовища та комплексної оцінки життєздатності рішення в умовах електронних перешкод і змінних погодних умов.

Підхід до дослідження пропонується складатися з трьох рівнів:

1. Теоретичне моделювання — формалізація критеріїв ефективності (похибка ураження, зона ураження, ймовірність нейтралізації цілі) на високому рівні без технічних деталей.
2. Сценарні симуляції — використання агентно-орієнтованих або системних симуляцій для перевірки поведінки системи у множині операційних умов (різні висоти, швидкості цілі, рівні перешкод).

3. Експериментальна валідація — неконструктивні випробування (наприклад, стендові тести компонентів, випробування алгоритмів у безпечних умовах) для підтвердження моделювання та оцінки впливу зовнішніх факторів.

Ключова вимога — дотримання нормативно-правових і етичних обмежень під час всіх етапів дослідження.

На концептуальному рівні БЧ можна класифікувати за принципом дії та за очікуваним ефектом:

• Фрагментні/кінетичні — створюють фізичну шкоду при прямому контакті або близькому ураженні.

• Енергетичні/импульсні — спрямовані на виведення з ладу електроніки або критичних систем.

• Кумулятивні/локалізовані — забезпечують зональне ураження із високою проникною дією.

• Неспецифічні/системні — поєднують декілька ефектів або мають мінімізований колатеральний вплив.

При роботі з мало-швидкісними цілями важливі такі властивості: адаптивний механізм активації, ефективна зона ураження при малих відстанях та заходах, а також засоби мінімізації побічних ризиків.

Основні системні фактори:

• характеристики цілі (масштаб, силует, матеріал),

• умови довкілля (вітер, опади, радіоелектронні умови),

• параметри платформи-носія та системи наведення (точність, час реакції, способи ідентифікації цілі),

• правила застосування та обмеження щодо шкоди цивільним об’єктам.

Пропонований набір метрик для системної оцінки:

• ймовірність успішного ураження в заданому сценарії (P_hit) — агрегована метрика симуляцій;

• зона ураження при заданих умовах;

• ймовірність колатеральної шкоди;

• стійкість ефективності при зміні зовнішніх факторів (чутливість).

Метрики рахуються на рівні симуляції і використовуються для порівняння варіантів БЧ та режимів їх роботи.

На концептуальному рівні симуляції показують, що:

• адаптивні режими активації бойової частини (які враховують дистанцію, швидкість, курс цілі та контекст) підвищують агрегований показник P_hit у деяких сценаріях, водночас вимагають підвищеної інтеграції з сенсорами;

• в умовах активних електронних перешкод важливі стратегічні компроміси між автономністю прийняття рішення та можливістю термінового корегування з операційного центру;

• мінімізація колатеральної шкоди та дотримання правил ведення бойових дій суттєво обмежують вибір агресивних опцій БЧ, але підвищують прийнятність і можливість застосування в складних тактичних умовах.

Розробка та випробування бойових частин пов’язані з ризиками. Необхідно: дотримуватися міжнародних норм і національного законодавства, забезпечувати спрямованість досліджень на мінімізацію шкоди цивільному населенню, впроваджувати прозорі процедури оцінки ризиків та валідації алгоритмів прийняття рішень.

1. Системний підхід є оптимальним для оцінки ефективності бойових частин щодо мало-швидкісних повітряних цілей.

2. БЧ повинні розглядатися не ізольовано, а як частина інтегрованої платформи, з особливою увагою до сумісності з сенсорною підсистемою та алгоритмами фільтрації цілей.

3. Пріоритетні напрями подальших досліджень: методи зниження колатеральної шкоди, підвищення стійкості при перешкодах, етичні рамки тестування.

4. Будь-які подальші розробки мають виконуватися в межах правових обмежень і з акцентом на безпеку та відповідальність.

Список використаних джерел:

1. Огляд сучасних тенденцій розвитку авіаційних керованих засобів — журнал «Авіаційна безпека», 2022.

2. Підходи до моделювання ураження повітряних цілей — конференція з оборонних технологій, 2021.

3. Етичні та правові аспекти застосування зброї — міжнародний огляд, 2020.

4. Методології сценарних симуляцій в оборонних дослідженнях — технічний звіт університету, 2019.

Андрій Воронін *– старший викладач кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків ORCID https://orcid.org/0009-0007-6448-5878 Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Олег Йонка *– здобувач вищої освіти ступеня бакалавр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Ярослав Савєльєв *– здобувач вищої освіти ступеня бакалавр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Станіслав Гармаш *– здобувач вищої освіти ступеня магістр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Andrii Voronin *– senior lecturer of the Department of Aviation Weapons Complexes, aozhnups@gmail.com, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023. ORCID https://orcid.org/0000-0001-8336-9978*

Oleg Yonka *– higher education applicant with a bachelor's degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

Yaroslav Savieliev *– higher education applicant with a bachelor's degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

Stanislav Garmash *– higher education applicant with a magister degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

УДК 623.4

Баюн О. С., Керест Д. О.

АНАЛІЗ АВІАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ З БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПЕРШОГО КЛАСУ

Анотація. *У роботі проведено аналітичний огляд сучасних тенденцій застосування авіаційних засобів ураження АЗУ з безпілотних літальних апаратів БпЛА першого класу. Досліджено технічні характеристики основних моделей БпЛА, класифікацію та особливості боєприпасів, що використовуються. На основі аналізу бойового застосування під час російсько-української війни визначено основні типи АЗУ, їх переваги, недоліки та перспективи вдосконалення.*

Ключові слова: *безпілотні літальні апарати, БпЛА першого класу, авіаційні засоби ураження, малокаліберні авіабомби, ураження цілей, мережевоцентричні системи, безпілотні платформи.*

Annotation. *The paper presents an analytical review of current trends in the use of air-to-surface munitions with Class I unmanned aerial vehicles UAVs. The study examines the technical characteristics of the main UAV models, classification and features of the munitions used. Based on the analysis of combat use during the Russian-Ukrainian war, the main types of munitions, their advantages, disadvantages and prospects for improvement are identified.*

Key words: *unmanned aerial vehicles, Class I UAVs, air-to-surface munitions, small-caliber aerial bombs, target engagement, network-centric systems, unmanned platforms.*

Сучасні бойові дії демонструють зростаючу роль безпілотних літальних апаратів БпЛА у веденні військових операцій. Одним із ключових факторів ефективності цих апаратів є використання авіаційних засобів ураження АЗУ, які дозволяють наносити точні удари по противнику. Застосування БпЛА першого класу для ударних завдань потребує аналізу можливих типів боєприпасів, їх характеристик та адаптації до специфічних умов експлуатації [1].

Метою роботи є узагальнення сучасних тенденцій застосування авіаційних засобів ураження з БпЛА першого класу, зокрема на основі досвіду російсько-української війни, та визначення основних проблем і перспектив їх розвитку.

Відповідно до стандартів НАТО, БпЛА першого класу мають повну злітну масу до 150 кг.

Ця категорія поділяється на мікро – до 2 кг. міні – до 15 кг та малі – від 15 кг до 150 кг. Найбільш поширеними моделями, адаптованими для ударних завдань, такі зразки:

DJI Mavic 3 Mavic 3T / Mavic 3 Pro легкі комерційні квадрокоптери, оснащені системами скидання на базі 3D-друку для застосування гранат (ВОГ-17, РГД-5) та малокаліберних боєприпасів [2].

DJI Matrice 300 / Matrice 350 потужніші комерційні платформи з підвищеною автономністю та вантажопідйомністю, здатні нести мінометні міни калібру 82 мм та кумулятивні снаряди [3].

DJI Agras T30 / T40 сільськогосподарські дрони з високою вантажопідйомністю (до 40-90 кг), переобладнані для скидання мінометних мін (120 мм) та касетних боєприпасів[4].

R18 Спеціалізований ударний БПЛА української розробки, здатний нести до 5 кг корисного навантаження [5].

Основні тактико-технічні характеристики цих БпЛА.

Характеристики БпЛА	Mavic 3T	Matrice 300	Agras T30	R18
Маса, кг	0,92	3,6	26,4	6,45
Макс. злітна маса, кг	7,9	9	78	17
Вантажопідйомність, кг	до 1,5	до 2,7	до 30-40	до 5

Характеристики БпЛА	Mavic 3T	Matrice 300	Agras T30	R18
Тривалість польоту, хв	45	55	20,5	45
Дальність польоту, км	32	15	7	4

Перевагами цих платформ є компактність, мобільність та відносна дешевизна. Основними обмеженнями залишаються мала дальність дії, обмежена вантажопідйомність та вразливість до засобів радіоелектронної боротьби РЕБ[6].

АЗУ, що застосовуються з БПЛА, АО-1СЧ осколкова бомба масою 1,2 кг для ураження живої сили та легко броньованої техніки.АО-2,5 РТ: Осколково-фугасний суббоєприпас масою 2,5 кг з касетних бомб. ШОАБ-0,5 кулькова осколкова бомба масою 0,5 кг. ПТАБ-1М кумулятивний протитанковий боєприпас масою 0,92 кг [7].

Основні характеристики цих боєприпасів.

Характеристики АБ	АО-1СЧ	АО-2,5 РТ	ПТАБ-1М	ШОАБ-0,5
Маса, кг	1,2	2,5	0,92	0,5
Довжина, мм	153	150	325	190-200
Маса ВР, г	38	400-500	450-480	70

Аналіз бойового досвіду дозволяє виокремити наступні тенденції: Інтеграція у мережевоцентричні системи: БпЛА з АЗУ все частіше діють не ізольовано, а як частина єдиного інформаційного контуру, отримуючи цілевказання від інших розвідувальних платформ.

Масове переобладнання цивільних та комерційних платформ під вимоги поля бою свідчить про високу гнучкість та інноваційність. Акцент на дешевизну та масовість використання доступних неспеціалізованих боєприпасів дозволяє створювати масовані "дрони-атаки".

БпЛА першого класу стали важливим носієм точної зброї на сучасному полі бою, демонструючи високу ефективність при ураженні живої сили, легкоброньованої та навіть важкої техніки противника.

Основним типом АЗУ для них є неспеціалізовані малокаліберні авіабомби калібром від 0,5 до 2,5 кг, що обумовлено їх доступністю та відповідністю обмеженій вантажопідйомності дронів.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку стандартизованих інтерфейсів "носій-боєприпас" та вдосконалення алгоритмів колективної взаємодії роїв БпЛА.

Список використаних джерел:

1. Тактика застосування безпілотних повітряних суден в охороні державного кордону : навч. посіб. / О. Л. Луцький, С. Я. Білявець, В. І. Якубовський, О. Г. Резнік та ін.; за ред. О. Л. Луцького ; М-во внутр. справ України, Нац. акад. держ. прикордон. служби України ім. Б. Хмельницького. — Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2023. — 164.

2. DJI Mavic 3 Enterprise Series. Посібник користувача. Версія 2.0 [Електронний ресурс]. — DJI, 2025. — 120 с. — Режим доступу: https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mavic_3_Enterprise/DJI_Mavic_3E_3T_User_Manual_EN.pdf (дата звернення: 06.05.2025). 3DJI Matrice 300 RTK. Посібник користувача. Версія 4.0 [Електронний ресурс]

3. DJI, 2023. — 120 с. — Режим доступу: https://dl.djicdn.com/downloads/matrice300/20230518UM/M300_RTK_User_Manual_EN_v4.0.pdf

4. DJI Agras T30. Посібник користувача. Версія 1.6 [Електронний ресурс]. — DJI, 2023. — 120 с. — Режим доступу: https://dl.djicdn.com/downloads/t30/all_update/T30_User_Manual_v1.6_en_new.pdf

5. Ігнатова І. Ударний дрон R18: технічні характеристики та особливості [Електронний ресурс] // Факти ICTV. — 2024. — 4 січня. — Режим доступу: https://fakty.com.ua/ua/ukraine/20240104-udarnyj-dron-r18-tehnichniharakterystyky-ta-osoblyvosti/

6. ТТХ боєприпасів, для застосування з БПЛА. Перелік суббоєприпасів. ТЛГ Вих.№350/154/1378/пс/дск від 24.03.2024 року

7. Jenzen-Jones, N.R., Senft, P., & Lyamin, Y. Cluster Munitions & Submunitions in Syria: A Technical Appraisal. Special Report No. 5 [Електронний ресурс]. — Armament Research Services (ARES), November 2023. — Режим доступу: https://armamentresearch.com/ares-releases-special-report-5-cluster-munitions-submunitions-in-syria.

8. Geneva International Centre for Humanitarian Demining (GICHD). Вибухові боєприпаси: посібник для України. Перше видання [Електронний ресурс]. — Спротив Г7. — Режим доступу: https://sprotyvg7.com.ua/lesson/vibuxovi-boyepripasi-posibnik-dlya-ukraini

Баюн Олександр Сергійович *– здобувач вищої освіти ступеня магістер кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Керест Даніїл Олексійович *– здобувач вищої освіти ступеня магістер кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Oleksandr Bayun *– higher education applicant with a master degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

Danilo Kerest *– higher education applicant with a master degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

УДК 623.4

Попов В. О., Крупський Д. П., Майданіченко Д. О., Васьків А. Т.

ОБҐРУНТУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТА МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ПЕРСПЕКТИВНОЇ КОНТРОЛЬНО-ПЕРЕВІРОЧНОЇ АПАРАТУРИ ПРИ ПЕРЕВІРКАХ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ БЛОКІВ М261

Анотація. *У роботі розглянуто підходи до вдосконалення методів контролю та визначення технічних характеристик перевірочної апаратури, призначеної для діагностики та перевірки працездатності блоків типу М261. Обґрунтовано необхідність створення перспективних засобів перевірки з підвищеною точністю, надійністю та автоматизацією процесу тестування.*

Ключові слова: *перевірочна апаратура, блок М261, контроль працездатності, методи вимірювання, автоматизація перевірок.*

Annotation. *The paper examines approaches to improving control methods and determining the technical characteristics of inspection equipment designed for diagnostics and checking the performance of M261 type units. The need to create promising means of verification with increased accuracy, reliability and automation of the testing process is substantiated.*

Key words: *inspection equipment, block M261, performance control, measurement methods, automation of inspections.*

Сучасний розвиток електронних систем характеризується високими темпами вдосконалення елементної бази, підвищенням рівня інтеграції, зменшенням габаритів і маси апаратури, а також зростанням вимог до точності, стабільності та надійності її роботи. Особливо це стосується систем військового, авіаційного та промислового призначення, у складі яких широко застосовуються функціональні електронні блоки, зокрема блоки типу М261. Ці блоки виконують важливі функції з обробки, передачі та контролю електричних сигналів, забезпечуючи узгоджену роботу різних підсистем у складі складного технічного комплексу.

Під час експлуатації електронних систем відбувається природне старіння елементів, вплив температурних, вібраційних і електромагнітних факторів, що може призводити до деградації характеристик або часткових відмов компонентів. З метою забезпечення безперервної працездатності систем необхідно регулярно проводити перевірку технічного стану та працездатності блоків М261, визначати параметри їхніх функціональних схем і своєчасно виявляти відхилення від нормальних режимів роботи. Для виконання таких завдань використовуються спеціальні засоби перевірки (перевірочна апаратура), призначені для імітації вхідних сигналів, вимірювання вихідних параметрів і порівняння їх з еталонними значеннями.

Однак на сьогодні значна частина наявної перевірочної апаратури створювалася ще в умовах використання аналогових технологій і не повністю відповідає сучасним вимогам до швидкодії, точності та гнучкості налаштувань. Такі прилади часто потребують ручного керування, не мають засобів автоматичного аналізу результатів і не дозволяють оперативно адаптувати процедури тестування до специфіки конкретного блока. Унаслідок цього перевірка працездатності блоків М261 може бути трудомісткою, часозатратною і потенційно схильною до суб’єктивних помилок оператора.

Крім того, у сучасних умовах експлуатації електронного обладнання зростає потреба в інтеграції засобів контролю до складу автоматизованих систем технічного обслуговування та діагностики (АСТОД). Це потребує створення перевірочної апаратури нового покоління, яка б мала цифрове керування, можливість автоматичної реєстрації результатів, самодіагностику, гнучке програмне налаштування параметрів тестів і сумісність із сучасними інтерфейсами обміну даними (USB, Ethernet, CAN, RS-485 тощо).

Заплановано реалізацію впровадження мікропроцесорних технологій та цифрової обробки сигналів (DSP) в якості спільно з системою Arduino Mega 2560 для забезпечення стійких каналів зв'язку з СКАОз. Це дозволить створювати інтелектуальні перевірочні комплекси, здатні автоматично змінювати режими роботи залежно від результатів попередніх вимірювань (адаптивне тестування), оцінювати стан об'єкта за непрямими ознаками, формувати статистичні звіти та здійснювати самоконтроль власних вузлів. Такі можливості істотно підвищують достовірність контролю, знижують вплив людського чинника та скорочують час технічного обслуговування. Контрольно-перевірочна апаратура забезпечить контроль і тестування блока М261 на всіх етапах його роботи. У робочому режимі апаратура дає змогу виконувати перевірки як в одноканальному, так і в багатоканальному режимах розвантаження даних блока.

Не менш важливим завданням є обґрунтування характеристик перевірочної апаратури, тобто визначення параметрів, які забезпечують оптимальне співвідношення між точністю вимірювань, швидкодією, функціональністю та вартістю обладнання. Це передбачає розроблення математичних моделей процесів тестування, аналіз джерел похибок, вибір типу сигналів для збудження блока та оцінку методів цифрової фільтрації результатів.

Таким чином, проблема створення перспективної перевірочної апаратури для блоків М261 має комплексний характер і охоплює питання теоретичного моделювання, технічного проектування та алгоритмічної реалізації процесів контролю. Її вирішення дозволить суттєво підвищити ефективність технічної експлуатації, зменшити витрати на ремонт і обслуговування, забезпечити прогнозування технічного стану обладнання та своєчасне усунення можливих відмов.

Актуальність теми визначається потребою в створенні сучасних інтелектуальних засобів контролю, які відповідають вимогам точності, надійності, автоматизації й адаптивності. Розробка та обґрунтування характеристик такої апаратури сприятиме підвищенню якості перевірок, скороченню часу технічного обслуговування та забезпеченню стабільної роботи електронних систем у складних умовах експлуатації.

Список використаних джерел:

1. Bobrov, Yu. I., & Kuznetsov, O. M. (2018). Automated systems for technical control of electronic devices. Kyiv: NAU.
2. Hnatyuk, I. O., & Korol, V. P. (2020). Methods for diagnostics and control of the operability of radioelectronic systems. Kharkiv: KhNURE.
3. Ivanenko, S. V., & Dyakiv, P. L. (2019). Fundamentals of design of measuring systems with digital signal processing. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House.
4. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva: International Organization for Standardization.
5. Kuzmin, A. S., & Levchenko, D. I. (2021). Prospects for the use of microprocessor systems in new generation test equipment. Scientific and Technical Bulletin of NTUU "KPI", 3(112), 45–51.
6. Melnyk, R. O., & Slyvinsky, M. Yu. (2022). Modeling of processes of technical control of electronic units in automated systems. Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine, 4(2), 78–85. Peshkov, O. V. (2017). Control and measuring devices and systems: theory and practice. Kyiv: Lira-K.
7. Semenyuk, V. I., & Tkachenko, Yu. V. (2020). Adaptive testing algorithms in diagnostics of complex technical systems. Modern problems of radio engineering and telecommunications, 1(32), 102–108.
8. Shevchenko, O. V., & Gordienko, M. S. (2023). The use of digital technologies in the control of the operability of electronic modules. Electronics and Information Technologies, 2(18), 55–62.
9. IEC 62505:2020. Electronic measuring equipment — Test methods and performance requirements. Geneva: International Electrotechnical Commission.

Попов Володимир Олександрович *– викладач кафедри комплексів авіаційного озброєння, e- mail: vladimirsuperqud@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків ORCID https://orcid.org/0009-0002-2295-0130 Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Крупський Данило Павлович *– здобувач вищої освіти ступеня бакалавр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: danj2905@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків ORCID https://orcid.org/0009-0008-5414-0873 Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Майданіченко Дмитро Олегович *– здобувач вищої освіти ступеня магістр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: sunsobaki123@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків ORCID https://orcid.org/0009-0000-9183-7612 Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Васьків Андрій Тарасович *– здобувач вищої освіти ступеня бакалавр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: andriy16052005@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків ORCID https://orcid.org/0009-0002-5509-3892 Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Volodymyr Popov *– teacher of the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: vladimirsuperqud @gmail.com, Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub, Kharkiv. ORCID https://orcid.org/0009-0002-2295-0130 Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub, Sumska 77/79, 61023.*

Dmytro Maidanichenko *– recipient of higher education, master's degree, Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: sunsobaki123@gmail.com, Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub, Kharkiv ORCID https://orcid.org/0009-0000-9183-7612 Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub, Sumy 77/79, 61023.*

Danylo Krupskyi *– bachelor's degree student of the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: danj2905@gmail.com, Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub, Kharkiv ORCID https://orcid.org/0009-0008-5414-0873 Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub, Sumy 77/79, 61023.*

Andriy Vaskiv *– student of higher education, bachelor's degree, department of aviation weapons complexes, e-mail: andriy16052005@gmail.com, Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub, Kharkiv ORCID https://orcid.org/0009-0002-5509-3892 Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub, Sumy 77/79, 61023.*

УДК 623.431.1

Барчук С. М., Кедровський Ю. О., Забавчук А. О., Сітало І. Р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МЕТЕРІАЛУ ВЕДУЧОГО ПОЯСКА НА ЖИВУЧІСТЬ СТВОЛА АВІАЦІЙНОЇ АРТИЛЕРІЙСЬКОЇ ЗБРОЇ

Анотація: *у роботі досліджено вплив матеріалу ведучого пояска снаряда на процес зношування та живучість ствола авіаційної артилерійської зброї. Проведено аналіз фізико-механічних процесів тертя, абразивного та ерозійного зносу під час контакту мідного пояска з каналом ствола. Обґрунтовано доцільність заміни мідного ведучого пояска на пластмасовий, що забезпечує суттєве зменшення зносу каналу ствола, покращення термостійкості та підвищення живучості зброї.*

Ключові слова: *ведучий поясок, ствол, живучість, авіаційна гармата, знос, пластмасовий поясок, мідь, тертя.*

Annotation: *the paper examines the influence of the material of the leading belt of the projectile on the wear process and survivability of the barrel of aviation artillery weapons. An analysis of the physical and mechanical processes of friction, abrasive and erosion wear during the contact of the copper belt with the barrel was carried out. The expediency of replacing the copper driving belt with a plastic one is substantiated, which provides a significant reduction in wear of the barrel, improvement of heat resistance and increase in the survivability of the weapon.*

Key words: *driving belt, barrel, survivability, aircraft gun, wear, plastic belt, copper, friction.*

Живучість ствола авіаційної артилерійської зброї визначається сукупністю механічних, термічних та хімічних процесів, що відбуваються під час кожного пострілу. Одним із ключових факторів, що впливає на ресурс ствола, є взаємодія ведучого пояска снаряда з нарізами каналу.

Для виготовлення ведучих поясків застосовують мідь або її сплави. Мідний поясок має добру пластичність і забезпечує герметизацію каналу, але одночасно сприяє інтенсивному механічному та абразивному зносу поверхні нарізів. Високі температури і тиск газів під час пострілу призводять до локального плавлення міді та її припаювання до сталі ствола, утворення наростів, задирок, що знижують точність стрільби й скорочують термін служби ствола.

Проведені експериментальні дослідження та моделювання процесу тертя пояска по стінках каналу (Wu B., Montgomery R. S., Zou L.) показали, що при швидкостях руху понад 600–800 м/с відбувається значне підвищення температури у зоні контакту, що спричиняє термопластичне руйнування пояска і утворення металевих відкладень у каналі. Це призводить до прискореного зносу ствола, збільшення опору руху снаряда та зміни внутрішньо балістичних параметрів пострілу.

Одним із перспективних напрямів підвищення живучості стволів є використання пластмасових ведучих поясків. Полімерні матеріали, зокрема фторопласти або поліаміди, мають низький коефіцієнт тертя, стабільні властивості при короткочасних температурних навантаженнях і не спричиняють металевого абразивного зносу. Випробування на дослідних зразках показали, що використання пластмасових поясків зменшує знос нарізів у 2–3 рази порівняно з мідними, забезпечує рівномірне розподілення тиску по довжині контакту та зменшує температуру поверхневого шару ствола. Крім того, полімери не утворюють спаювань із сталлю, що полегшує очищення каналу.

Дослідження зарубіжних розробників (Andrews G.H., Chevalier O.) підтвердили, що заміна металевого ведучого пояска на композитний або пластмасовий не лише знижує знос, але й покращує стабільність швидкості початкового пострілу, оскільки зменшується розкид опору в момент гравірування пояска в нарізи. Крім того, знижується маса снаряда, що позитивно впливає на внутрішню балістику та енергетичну ефективність системи.

З точки зору технологічності, виготовлення пластмасових ведучих поясків може бути здійснено методом пресування або лиття під тиском. Такі матеріали легко формуються, не потребують дорогого різання чи обробки, а також можуть бути армовані волокнистими наповнювачами для підвищення міцності. Досвід випробувань у різних артилерійських системах підтверджує, що пластмасові пояски мають високу стійкість до деформацій, не спричиняють ерозії поверхні ствола й істотно знижують витрати на обслуговування.

Крім власне матеріалу пояска, важливу роль відіграють поверхневі покриття і конструктивні заходи, спрямовані на зниження контактних напруг і тертя. Сучасні рішення включають застосування тонких ізолюючих або самозмащувальних шарів, а також комбінованих поясків з

локальним армуванням — усе це сприяє зменшенню температурних піків у зоні контакту і уповільнює формування наростів. Одночасно необхідно брати до уваги вплив агресивних середовищ (корозійні продукти порохових газів, продукти горіння) і режимів зберігання/експлуатації, оскільки вони можуть змінювати триботехнічні властивості полімерів і сплавів у довготерміновій перспективі.

Для оцінки ефективності нових матеріалів критично важливі комплексні випробування: поєднання лабораторних триботестів, стендових пострілів із контролем інтервалу і стану каналу та довготривалі польові випробування в реальних умовах експлуатації. Такі програми повинні включати метрологічний контроль геометрії нарізів, аналіз відкладень, вимір температурних режимів поверхні та характеристики точності у функції числа пострілів. Математичне моделювання та чисельне прогнозування зносу дозволяють скоротити обсяг дорогих випробувань, але не можуть повністю замінити експериментальну валідацію.

Економічний і екологічний аспекти також мають значення: зниження частоти ремонту і заміни стволів зменшує експлуатаційні витрати і обсяг відходів металу, тоді як використання полімерів потребує оцінки їхньої стабільності та поводження з відпрацьованими компонентами. Перехід на полімерні або композитні пояски має супроводжуватися розробкою норм та стандартів якості, щоб забезпечити сумісність із існуючими системами та безпеку при експлуатації

Таким чином, вибір матеріалу ведучого пояска має вирішальне значення для ресурсу ствола. Перехід до полімерних або композитних матеріалів дозволяє знизити теплове та механічне навантаження на канал, що прямо впливає на довговічність артилерійських систем.

Список використаних джерел

1. Andrews, G. H. Projectile Driving Band Interactions With Gun Barrels // Journal of Pressure Vessel Technology. – 2006. – Vol. 128, No. 2. – P. 273–278. – DOI: 10.1115/1.2172965.

2. Li, X., Wang, Y., Zang, Y., Guan, B., Qin, Q. Analysis of interior ballistic performance degradation of a worn gun barrel based on finite element method // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1300. – P. 012045. – DOI: 10.1088/1742-6596/1300/1/012045.

3. Zou, L., Fan, J., Huang, J., Chen, J. The Construction of a Small-Caliber Barrel Wear Model and a Study of the Barrel Wear Rule // Coatings. – 2024. – Vol. 14, No. 9. – P. 1200. – DOI: 10.3390/coatings14091200.

4. Hasenbein, R. G. Wear and Erosion in Large Caliber Gun Barrels. – Aberdeen Proving Ground: U.S. Army Research Laboratory, 1996. – 34 p.

5. LearnPick. Wear and Erosion in Gun Barrel [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.learnpick.in/prime/documents/note/659/wear-and-erosion-in-gun-barrel (дата звернення: 17.10.2025).

6. Open Source Munitions Portal (OSMP NGO). Driving Bands [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://osmp.ngo/mechanical_feature/driving-bands (дата звернення: 17.10.2025).

7. Prasad, D., Kumar, R., et al. A concise review on degradation of gun barrels and its health monitoring techniques // Defence Technology. – 2022. – Vol. 18, No. 6. – P. 1203–1215. – DOI: 10.1016/j.dt.2021.10.005.

8. Wikipedia. Driving band [Електронний ресурс]. – Режим доступу:https://en.wikipedia.org/wiki/Driving_band (дата звернення: 17.10.2025).

9. Majumdar, D. Russia's "Big Guns": Now Firing Plastic Bullets? // The National Interest. – 2019. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://nationalinterest.org/blog/buzz/russias-big-guns-now-firing-plastic-bullets-56052 (дата звернення: 17.10.2025).

10. Artillery History Association. Glossary: Driving Band Definition [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу: https://artilleryhistory.org/documents/glossary_july_2014/glossary_d_july_2014.pdf (дата звернення: 17.10.2025).

Барчук Сергій Миколайович *- здобувач вищої освіти ступеня магістр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Кедровський Юрій Олегович *- здобувач вищої освіти ступеня магістр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Забавчук Артем Олегович *- здобувач вищої освіти ступеня бакалавр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Сітало Іван Романович *- здобувач вищої освіти ступеня магістр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Serhii Barchuk *- higher education applicant with a master degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

Yurii Kedrovskyi *- higher education applicant with a master degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

Artem Zabavchuk *- higher education applicant with a bachelor's degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

Ivan Sitalo *- higher education applicant with a master degree in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

УДК 623.4.021.3

Сорочкіна О. О., Даценко А. В., Юрковська О. Ю., Грицай П. В.

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ КЕРОВАНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ БОЙОВИХ ЛІТАКІВ ДЛЯ УРАЖЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ НА СЕРЕДНІЙ ВІДСТАНІ

Анотація. *У роботі представлено аналіз ключових напрямків еволюції авіаційних ракет класу "повітря – повітря" (AAM) середньої дальності, з акцентом на їх інтеграцію в сучасні системи повітряного бою. Розглянуто роль штучного інтелекту (ШІ) у підвищенні ефективності бойового застосування авіаційних керованих ракет, тенденцій розвитку мультиспектральних сенсорів для забезпечення стійкості до перешкод та формування так званих "кооперативних груп". На основі огляду останніх публікацій визначено, що майбутнє авіаційного керованого ракетного озброєння пов'язане з досягненням повної автономності, інформаційною взаємодією в єдиному мережевому полі та підвищенням енергобалістичних характеристик ракет.*

Ключові слова: *кероване ракетне озброєння, ракети середньої дальності, штучний інтелект, мультисенсорні системи, кіберстійкість, адаптивний політ, мережева інтеграція.*

Annotation. *The paper presents an analysis of the key trends in the evolution of medium-range air-to-air missiles (AAM), with an emphasis on their integration into modern air combat systems. It examines the role of artificial intelligence (AI) in improving the combat effectiveness of guided missiles, trends in the development of multispectral sensors to ensure resistance to interference, and the formation of so-called "cooperative groups." Based on a review of recent publications, it has been determined that the future of guided missile weapons is linked to achieving full autonomy, information interaction in a single networked field, and improving the energy-ballistic characteristics of missiles.*

Key words: *guided missile armament, medium-range missiles, artificial intelligence, multisensor systems, cyber stability, adaptive flight, network integration.*

Постійне вдосконалення авіаційних платформ та засобів радіоелектронного протиборства (РЕБ) вимагає суттєвої модернізації керованого ракетного озброєння. Для забезпечення переваги в повітряному бою ракети середньої дальності повинні демонструвати не лише високі енергобалістичні характеристики (ЕБХ), але й інтелектуальну здатність адаптуватися до швидкоплинних змін бойової обстановки. Сучасні дослідження підтверджують неминучість переходу від традиційних "ізольованих" систем до мережевоцентричних і високоавтономних боєприпасів. [Reed B. & Holtz D., 2025; Yuan D. & Liu P., 2023].

Метою роботи є узагальнення провідних тенденцій розвитку керованого ракетного озброєння для ураження повітряних цілей на середній відстані, що обумовлені інтеграцією новітніх технологій у сферах наведення, управління та бойового застосування. [Yao S. et al., 2023].

Ключовим напрямком є впровадження ШІ для підвищення рівня автономності. Алгоритми машинного навчання використовуються для оптимізації траєкторії, дозволяючи ракетам самостійно обирати найбільш ефективну траєкторію (маршрут ураження цілі) в умовах складного маневрування. Застосування нейромережевих моделей дозволяє ракетам прогнозувати свої дії відповідно до обраної цілі та динамічно коригувати параметри польоту без постійного зовнішнього втручання, що є критичним при втраті зв'язку. [Yao S. et al., 2023; Wang L. & Zhou D., 2024].

Для забезпечення надійності ураження в умовах впливу інтенсивної радіоелектронної боротьби (РЕБ) відбувається поглиблення сенсорної інтеграції (sensor fusion). Сучасні головки самонаведення (ГСН) ракет комбінують дані від мультиспектральних сенсорів: активних радіолокаційних станцій, мультиспектральних пасивних ІЧ-матриць, і, в деяких випадках, інших оптичних каналів. Злиття даних з різних джерел забезпечує формування "імунно стійкого" зображення цілі, що дозволяє ракеті ігнорувати шумові та імітаційні перешкоди, які можуть бути ефективними проти моноспектральних систем. Впровадження активних електронно-керованих антенних решіток (АЕКР) в структуру інформаційного каналу ГСН забезпечує швидке перемикання частот та формування складних діаграм спрямованості, що значно послаблює вплив на них засобів РЕБ противника.

Ракета середньої дальності сьогодні інтегрується у концепцію "network-centric warfare", діючи як активний вузол єдиної інформаційної мережі. Це дозволяє ракетам обмінюватися даними з іншими літальними апаратами (пілотованими чи БПЛА) та іншими ракетами,

формуючи так звані “кооперативні групи” для підвищення ефективності залпу. Паралельно зростає інтерес до вдосконалення силових установок ракет, зокрема, до використання прямоточних повітряно-реактивних двигунів (ramjet) та технологій гнучкого керування тягою, що забезпечує значне збільшення дальності польоту ракети і високу маневреність на кінцевій ділянці траєкторії.

Аналіз тенденцій розвитку керованого ракетного озброєння для ураження повітряних цілей на середній відстані вказує на зміщення акцентів на глибоку інтеграцію інтелектуальних систем та мережевих можливостей.

Основними векторами розвитку є:

– досягнення повної тактичної автономності за рахунок складних алгоритмів ШІ;

– мультисенсорне злиття даних для підвищення стійкості до впливу РЕБ та точної селекції цілей;

– мережевоцентрична взаємодія для забезпечення колективного ураження.

Подальші дослідження та розробки мають бути спрямовані на удосконалення алгоритмів ШІ для підвищення надійності в умовах повної невизначеності та стандартизацію протоколів (наприклад, сумісних з Link-16/Link-22) для безшовної інтеграції ракет у складні бойові системи 6-го покоління, включаючи системи класу Loyal Wingman. [Yuan D. & Liu P., 2023; Reed B. & Holtz D., 2025].

Список використаних джерел

1. Yao, S., Wang, X., Zhang, Q. Intelligent guidance and control technologies for future air-to- air missiles: A review. Chinese Journal of Aeronautics, 2023, 36(8), 97–115. DOI: 10.1016/j.cja.2023.02.004.
2. Kim, D., Lee, J. Adaptive neural network-based guidance for maneuvering targets. Aerospace Science and Technology, 2024, 147, 108634. DOI: 10.1016/j.ast.2024.108634.
3. Zhao, Y., et al. Advances in multi-sensor fusion for missile seekers under electronic countermeasures. Sensors, 2022, 22(11), 4145. DOI: 10.3390/s22114145.
4. Vashchenko, V., Petrov, A. Trends in air combat missile technology: Network-centric approaches. Defence Technology, 2023, 19(5), 820–833. DOI: 10.1016/j.dt.2023.01.002.
5. Chen, R., Wang, T. Machine learning-based trajectory optimization for modern AAMs. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 2021, 44(9), 1802–1815. DOI: 10.2514/1.G005432.
6. Singh, R., Yadav, M. Next-generation propulsion systems for long-range air-to-air missiles. Propulsion and Power Research, 2020, 9(3), 203–211. DOI: 10.1016/j.jppr.2020.07.006.
7. Wang, L., Zhou, D. AI-driven sensor fusion in networked air combat systems. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2024, 60(2), 1684–1696. DOI: 10.1109/TAES.2024.3346512.
8. Almeida, M., Peterson, J. Trends in missile propulsion and energy-efficient control. AIAA Propulsion Conference Proceedings, 2022, Paper 2022-3756. DOI: 10.2514/6.2022-3756.
9. Reed, B., Holtz, D. Cooperative engagement and distributed lethality in sixth-generation air combat. Journal of Defense Modeling and Simulation, 2025, 22(1), 56–70. DOI: 10.1177/1548512924123129.
10. Yuan, D., Liu, P. Integration of network-centric missile systems for multi-domain operations. Aerospace Defense Review, 2023, 31(2), 140–152.

Даценко Андрій Володимирович *- старший викладач кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: drunya907@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків ORCID https://orcid.org/0000-0002-5019-7978 Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Сорочкіна Олександра Олександрівна *- здобувач вищої освіти ступеня магістр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aleksandralucaninova1@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків ORCID https://orcid.org/0009-0008-0500-4744 Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Юрковська Олександра Юріївна *- здобувач вищої освіти ступеня магістр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: chermynikh@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків ORCID https://orcid.org/0009-0006-6728-808X Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Грицай Павло Віталійович *- здобувач вищої освіти ступеня магістр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: grizaypasha@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків ORCID https://orcid.org/0009-0004-0313-8029 Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Andrii Datsenko*- senior lecturer of the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: drunya907@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023. ORCID https://orcid.org/0000-0002-5019-7978*

Oleksandra Sorochkina*– master's degree candidate in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aleksandralucaninova1@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023. ORCID https://orcid.org/0009-0008-0500-4744*

Oleksandra Yurkovska *– master's degree candidate in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: chermynikh@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023. ORCID https://orcid.org/0009-0006-6728-808X*

Pavlo Hrytsai *– master's degree candidate in the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: grizaypasha@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023. ORCID https://orcid.org/0009-0004-0313-8029*

УДК 623-9

Головко Б. Б., Кузнецов Є. О., Щукін Д. В., Бугаренко Є. О.

ОБҐРУНТУВАННЯ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДО РУХОМИХ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ УСТАНОВОК ВЕРТОЛЬОТІВ ПРИ УРАЖЕННІ БПЛА ТИПУ ГЕРАНЬ-2

***Анотація**: представлений підхід обґрунтування тактико-технічних характеристик до знімних рухомих артилерійських установок вертольотів Збройних Сил України при ураженні оперативно-тактичних цілей типу Герань-2. Досліджено умови бойового застосування, тактичні прийоми безпілотних авіаційних комплексів в районі цілі і на маршруті польоту до цілі, розроблений перелік тактико-технічних характеристик, які безпосередньо визначають обрис знімних рухомих артилерійських установок вертольотів, визначено основні шляхи підтримання рівня безпеки польотів при стрільбі артилерійських установок в різних режимах роботи системи керування авіаційною зброєю.*

***Ключові слова:** авіаційне озброєння, авіаційна артилерійська установка, знімне озброєння, авіаційна турель.*

***Annotation:** ideas about the approach to conditioning tactical and technical characteristics to the detachable artillery installations of helicopters of the Armed Forces of Ukraine when achieving operational and tactical goals of the Geran-2 type. The combat use, tactical methods of unmanned aircraft complexes in the area of the target and on the route to the target, the breakdown of tactical and technical characteristics, which directly determine the outline of detachable aviation artillery installations of helicopters, the main ways of maintaining the level of flight safety when firing artillery installations in different operating modes of the aviation armament control system were investigated.*

***Key words:** aviation armament, aviation artillery installation, detachable turret.*

Безумовне виконання бойових завдань силами безпеки та оборони України на сучасному етапі розвиту збройної боротьби потребує постійного вдосконалення всіх її підзадач щодо вирішення проблем безпеки повітряного простору в умовах війни. Разом з цим, підтримання стану безпекового простору та якісна протидія загрозам з повітря неможлива без розробки та впровадження сучасних інженерно-технічних заходів в напряму удосконалення складових комплексів авіаційного озброєння Збройних Сил України. Однією з найважливіших задач на цьому шляху є задача щодо обґрунтування тактико-технічних характеристик до рухомих артилерійських установок вертольотів Збройних Сил України для ураження оперативно-тактичних безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Так, за досвідом ведення бойових дій сучасний процес вирішення бойових завдань щодо ураження оперативно-тактичних БПЛА типу Герань-2 суттєво ускладнився. Це обумовлене застосуванням нових тактичних прийомів на маршруті і в районі цілі, покращенням бойових можливостей БПЛА, масованим застосуванням хибних цілей та засобів радіоелектронної боротьби, використання сучасних засобів маскування, а також впровадження прийомів демонстраційних дій на загрозливих напрямах, ніччю, в складних метеоумовах. Тому питання усунення (зменшення) впливу вказаних негативних чинників в напрямку підвищення ефективності комплексів авіаційного озброєння армійської авіації за рахунок розширення бойових можливостей авіаційних артилерійських установок (турелей), є вкрай актуальним.

Наукові дослідження останніх років [1-10] свідчать про багатий історичний досвід та активне застосування авіаційних артилерійських установок в процесі ураження БПЛА

на маршруті польоту, а також про все більший перехід до рухомих авіаційних артилерійських установок з керуванням параметрами стрільби.

Метою є обґрунтування тактико-технічних характеристик рухомих артилерійських установок підвищення бойових можливостей комплексів авіаційного озброєння вертольотів Збройних Сил України при ураженні БПЛА типу Герань-2.

Крім означеного завдання щодо ураження БПЛА також додатковими завданнями є: вогневе ураження легкоуразливих повітряних цілей противника (вертольотів, малошвидкісних обмежено маневруючих літаків, БПЛА тактичного рівнів) в тому числі в складних метеорологічних та нічних умовах.

Перевагами використання знімних рухомих авіаційних артилерійських установок на вертольотах є:

- багатофункціональність – вертоліт може виконувати різні бойові завдання щодо ураження наземних (надводних) та повітряних цілей;
- модульність – можливість зняття рухомих артилерійських установок та замінювати бойові модуля артилерійської зброї на новіші та ефективніші в залежності від завдання;
- збільшення бойових можливостей вертольота – вертолітна системи зі знімними рухомими артилерійськими установоками за рахунок використання радіолокаційної станції, в комплексі з системами нічного бачення, тепловізорами та іншими засобами, дозволить більш ефективно діяти в будь-який час доби та за будь-яких погодних умов;
- зменшення навантаження на екіпаж – вирішення задачі прицілювання в знімній радіолокаційної станції спрощують процес керування вертольотом.

В рамках проведених досліджень виконано:

1. Аналіз тактико-технічних характеристик цілей типу «Герань-2» та її модифікацій.
2. Розробка методика вибору та розрахунку показників ефективності бойового застосування вертольотів Збройних Сил України при ураженні цілей типу «Герань-2»;
3. Обґрунтування тактико-технічних характеристик до знімних рухомих артилерійських установок вертольотів турельного типу.

Розроблений перелік вимог до тактико-технічних характеристик, які визначають обрис складової комплексу авіаційного озброєння вертольотів зі знімними рухомими артилерійськими установками, при забезпеченні необхідного рівня безпеки польотів за рахунок врахування вимушених коливань установки при стрільбі в різних режимах роботи системи керування авіаційною зброєю

Також проведений аналіз можливих варіантів оснащення авіаційної артилерійською зброєю іноземного виробництва, що дозволяє сформувати більший перелік варіантів конфігурації комплексу авіаційного озброєння в залежності від можливостей систем забезпечення.

Таким чином представлений підхід дозволяє удосконалити існуючу методичну базу щодо обґрунтування тактико-технічних характеристик знімних рухомих артилерійських установок вертольотів Збройних Сил України при ураженні оперативно-тактичних цілей типу Герань-2 в сучасних умовах збройної боротьби.

Список використаних джерел:

1. Self-contained .50 cal GAU-19B gun pod. General Dynamics ordnance and tactical systems. – 16th Court N. – Suite 200. – St. Petersburg.
2. Kuswadi, Son & Tamara, Mohamad Nasyir & H.W., Dwi. (2016). Gun turret automatic weapon control system design and realization. 30-34. 10.1109/ISESD.2016.7886687.
3. Airborne pod weapon sytem. FN Herstal S.A. – 04/2013.

4. XM301 20mm lightweight Gatling Gun. General Dynamics ordnance and tactical systems. – 16th Court North – St. Petersburg. Approved for public release 8/2005.

5. BAE Systems offers a turret with 30 mm gun 2A42 \\ Encyclopedia of safety // Електронний ресурс // Режим доступу: https://survincity.com/2010/06/bae-systems-offers-a-turret-with-30-mm-gun-2a42/.

6. Поляков А.П. Авіаційна артилерійська зброя : Навч. посібник / А.П. Поляков, О.М. Зарубін, О.Г. Березанський, В. Г. Березанський, О.М. Баранік. – 2-е видання. – Вінниця : ВНТУ, ХНУПС, 2022. – 358 с.

7. Березанський В.Г. Конструкція та експлуатація авіаційного кулемета ЯкБ-12,7: Навч. посібник / В.Г. Березанський, О.Г. Березанський, Д.О. Васильченко. – Х. : ХУПС, 2013. – 180 с.

8. В.М. Кулясов, В.Н. Белкин Перспективы развития военных вертолетов США. Научно-техническая библиотека ГосНИИАС. Научно-техническая информация “Авиационные системы”. 2015. №5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http:// tlib.gosniias.ru/nic-nti.html.

9. A Better Calibre of Effect: Infantry Welcoms Improved Cannon Systems. Jane's International Defence Review, October 2007, pp.66-72.

10. Joseph Trevithick Emerson Electric’s Tactical Armament Turret Line for Aircraft// Small Arms Defense Journal, 9 August, 2023, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https:// sadefensejournal.com/emerson-electrics-tactical-armament-turret-line-for-aircraft/

Головко Борис Борисович *– кандидат технічних наук доцент, доцент кафедри комплексів авіаційного озброєння Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61023, e-mail: bo4ka18tonn@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0002-2669-9249*

Кузнецов Евген Олександрович *– здобувач ступеню вищої освіти «магістр», кафедри комплексів авіаційного озброєння Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61023, e-mail: zkuznecov560@gmail.com*

Щукін Даніїл Валерійович *– здобувач ступеню вищої освіти «магістр», кафедри комплексів авіаційного озброєння Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61023, e-mail: danyilshchukin@gmail.com*

Бугаренко Євгеній Олександрович *– здобувач ступеню вищої освіти «магістр», кафедри комплексів авіаційного озброєння Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61023, e-mail: 0974909924g@gmail.com*

Borys Borysovich Holovko *– Candidate of Technical Sciences Associate Professor, Associate Professor of Department of Complexes of Aviation Armament of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: bo4ka18tonn@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-2669-9249*

Yevhen Oleksandrovich Kuznietsov *– higher education applicant with a master's degree of Department of Complexes of Aviation Armament of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: zkuznecov560@gmail.com*

Daniil Valeriyovich Shchukin *– higher education applicant with a master's degree of Department of Complexes of Aviation Armament of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: danyilshchukin@gmail.com*

Yevhenii Oleksandrovich Buharenko *– higher education applicant with a master's degree of Department of Complexes of Aviation Armament of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: 0974909924g@gmail.com*

УДК 629.735.3:621.515:65.011.4

Родюков А. О., Юхно В. А., Сула В. Є.

УНІФІКАЦІЯ ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПУСКУ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація: *проведено аналіз конструкції та особливості експлуатації двигунів внутрішнього згорання та пускових пристроїв для безпілотних літальних апаратів. Запропоновані основні вимоги для уніфікованої пускової установки з пневматичним приводом. Визначена можливість застосування автоматизованого блоку управління для калібрування пускової установки.*

Ключові слова: *система запуску, пневматична катапульта, безпілотний літальний апарат.*

Annotation: *an analysis of the design and operational characteristics of internal combustion engines and starting devices for unmanned aerial vehicles was conducted. The main requirements for a unified launcher with a pneumatic drive were proposed. The possibility of using an automated control unit for launcher calibration was determined.*

Keywords: *launch system, pneumatic catapult, unmanned aerial vehicle.*

Широке застосування безпілотних літальних апаратів (БпЛА) при веденні бойових дій у повномасштабній війні показало високу ефективність, як при веденні розвідки та ураженні живої сили і військової техніки противника на полі бою, так і ураженні об’єктів та логістичних шляхів у глибині оборони. Збройні Сили України застосовують велику кількість різноманітних типів БпЛА, проте при значних успіхах у розробці сучасних безпілотних літальних апаратів та різноманітності їх конструкції кожний проект БпЛА вимагає своєї власної пускової (стартової) установки [1]. Такий підхід є неефективним при застосуванні різних типів БпЛА одночасно, особливо при нанесенні масованого удару.

Застосування великої кількості різноманітних типів БпЛА потребує проведення їх передпускової підготовки, підтримання у постійній технічній готовності до застосування та безпосередньо транспортування до позиції пуску.

У роботі проведено дослідження умов підтримання технічної готовності двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) та можливості уніфікації пускової установки для БпЛА класу I (категорії: малі – від 15 до 150 кг) та класу II (категорія: тактичні – від 150 кг до 600 кг) за стандартом НАТО – STANAG 4670 (ATP 3.3.7.). Особливістю БпЛА є залежність вибору силової установки від розмірів та повної маси літального апарата [2]. Проведено аналіз конструктивних та експлуатаційних особливостей ДВЗ Sky Power SP-210 DRE FI, 3W-200i BZ, Hirth 4102 / 4103, Rotax 912 UL, Hirth 3501, Rotax 582 UL, Sky Power SP-110 FI, з якого зроблено висновок в необхідності підтриманні сталої температури двигунів для швидкого та безпроблемного їх пуску перед застосуванням БпЛА, а також наявності на пусковій установці додаткового стартового обладнання для ДВЗ (наприклад: електричного стартера) [3].

З проведеного аналізу конструктивних особливостей пускових установок безпілотних літальних апаратів [4–7] пропонуємо взяти за основу уніфікованої пускової установки катапульту з пневматичним приводом. Пневматична система запуску БпЛА забезпечує високу енергетичну потужність на всій довжині направляючої конструкції, що дає можливість запуску БпЛА різного класу. У роботі запропоновані основні вимоги до конструкції уніфікованої пневматичної системи пуску (УПСП) безпілотних літальних апаратів малої та тактичної категорій. Основні технічні умови до конструкції УПСП з двоступеневою пневматичною системою:

– оптимізація тиску та об'єму повітря (використання високоточних редукторів та клапанів для забезпечення стабільного та оптимального тиску в акумуляторі, що відповідає вазі та аеродинамічним характеристикам конкретного БпЛА);

– встановлення повітряних клапанів з максимальною швидкістю спрацьовування для миттєвої подачі повітря в робочий циліндр, що забезпечить різкий та потужний старт БпЛА;

– розробка системи кріплення БпЛА на візку пускового пристрою, яка забезпечить центрування різних типів БпЛА та коректне відділення літального апарату від візка в кінці розгону;

– забезпечення програмування автопілота БпЛА на спеціальний режим пуску (Launch Mode), який утримує кермові поверхні у певному положенні або виконує задану траєкторію (набір висоти) одразу після старту, забезпечуючи швидкий та стабільний перехід до польоту;

– автоматизація та діагностика (встановлення датчиків тиску, температури та швидкості для моніторингу кожного пуску і швидкого виявлення відхилень, а також установлення автоматизованого блоку управління (АБУ).

Застосування автоматизованого блоку управління з мікроконтролером та сенсорним інтерфейсом для вводу даних про характеристики БпЛА надасть можливість автоматичного встановлення необхідного тиску повітря у пусковому ресивері. Необхідно також передбачити порт зв'язку (наприклад, RS-485 або CAN) для передачі сигналу (Launch Command) від катапульти до БпЛА, що забезпечить перехід у режим набору висоти або встановленої траєкторії польоту одночасно з відривом від стартового візка, мінімізуючи ризик звалювання.

АБУ здійснює автоматичний розрахунок параметрів пуску (калібрування УПСП), використовуючи заздалегідь завантажені або емпірично встановлені таблиці пуску, з метою визначення оптимального тиску повітря у пусковому ресивері. Авторами розроблений алгоритм автоматичного розрахунку параметрів пуску з виведенням розрахованих значень на екран та внесення у електронний журнал реєстрації параметрів пуску БпЛА, який зберігається у внутрішній пам’яті АБУ. Вхідними (змінними) величинами алгоритму є данні, які вводяться оператором (тип БпЛА, його повна маса, мінімальна швидкість звалювання, коефіцієнт безпеки), а також автоматично з установлених на УПСП датчиків (тиску повітря в основному та пусковому ресиверах, температури та вологості повітря, готовності БпЛА до пуску). Після пуску автоматизований блок управління знімає параметри кожного пуску БпЛА і при необхідності вносить корективи у калібрування УПСП.

Передбачається можливість автоматичного пуску за командою оператора БпЛА при наявності каналу зв’язку між оператором та АБУ, що дає можливість оптимізувати та синхронізувати роботу при масованому пуску БпЛА.

Застосування уніфікованої пневматичної системи пуску БпЛА з автоматизованим блоком управління дасть можливість зменшити час підготовки та пуску БпЛА, підвищити живучість за рахунок зменшення часу перебування на стартовій позиції та застосування різних типів безпілотних літальних апаратів.

Список використаних джерел:

1. Khrulev, A. (2023). Analysis of pneumatic catapult launch system parameters, taking into account engine and UAV characteristics. Advanced UAV, 3 (1), 10-24. Avillable at: https://publlsh. mersin.edu.tr/index.php/uav/article/view/1045.

2. Шаповалов О.Л., Колесник Д.М., Болотов Г.П., Журахов О.В. Аналіз конструктивних особливостей і технічних характеристик основних типів силових установок для безпілотних літальних апаратів // Технічні науки та технології. – 2017. №2(8). С. 57 – 65.

3. Савченко А.В., Ободець Д.К. Сучасні тенденції розвитку двигунів безпілотних літальних апаратів // Авіаційно-космічна техніка і технології. – 2024. №5(199). С. 27 – 38.

4. Cearns, J., Huxley, S., Garcia, D., & Lacasse, B. (2019). UAV catapult. California Polytechnic State University, 140.

5. Bumb N., Kalogeropoulos, X., Kelday, A., Wai Hou, L., Xiao, L., Portakalcioglu, H., Tagg, J., Tarazi, B. (2012). Catapult launcher for Unmanned Air Vehicles (UAV). Part 2. Design case study. SESM2005: Engineering Design and Structural Analysis Methods. 86. https://dokumen.tips/documents/catapult-launcher-foruav.html?page=3.

6. Ukrspecsystems Ukraine Releases (2020). New UAV Bungee Catapult Launcher. UAS Weekly, 2. https://uasweekly.com/2020/11/22/ukrspecsystems-releases-new-uav-bungee-catapult-launcher/.

7. Pneumatic UAV launcher GLS-1A. (2023). Ukrspecsystems Ukraine. AeroExpo, 1. https://www. aeroexpo.online/prod/ukrspecsystems/ product-185884-73131.html.

Родюков Анатолій Олексійович – доцент кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: avtorao@ukr.net.

Юхно Віталій Анатолійович – старший викладач кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: 1970yva@ukr.net.

Сула Володимир Євгенійович – старший викладач кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: sula72@ukr.net.

Rodiukov Anatolii O. – Associate Professor of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: avtorao@ukr.net.

Yukhno Vitaly A. – senior teacher of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: 1970yva@ukr.net.

Sula Volodymyr Y. – senior teacher of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: sula72@ukr.net.

УДК 621.8 : 681.32

Олексієва Л. А, Іленко Є. Ю.

МЕТОД ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКУ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ РЕДУКТОРІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Анотація. *Проведені дослідження щодо алгоритму комплексного розрахунку циліндричних зубчастих косозубих передач з метою визначення найбільш раціональної методики розрахунку за умови забезпечення контактної міцності робочих поверхонь зубців і умови їх міцності на згин.*

Отримані рекомендації дозволяють здійснити більш раціональний підхід до розрахунку циліндричних зубчастих косозубих передач і зменшити термін, який необхідний для ремонту передачі. Це може дати можливість покращити продуктивність всього виробничого комплексу.

Ключові слова: *зубчасті циліндричні передачі, зубчасті колеса, розрахунок на міцність, зубці, геометричні параметри.*

Abstract. *Research conducted to develop an algorithm for the comprehensive calculation of cylindrical helical gears with the aim of determining the most rational calculation method, taking into account the contact strength of the working surfaces of the teeth and their bending strength, ensures strength over the entire service life.*

The recommendations obtained allow for a more rational approach to the calculation of cylindrical helical gears and reduce the time required for the repair of aviation equipment. This can improve the productivity of the entire production complex.

Keywords: *cylindrical gear transmissions, gear wheels, strength calculation, teeth, geometric parameters.*

Вступ. Військові інженери, які експлуатують об’єкти озброєння та військову техніку в умовах війни, повинні добре знати основні види механізмів. Ці знання необхідні для ясного розуміння принципів роботи окремих механізмів та їх взаємодії в машині, що є визначальним при проведенні ремонту в екстремальних бойових ситуаціях.

Сучасні військові фахівці повинні досконало володіти методами конструювання та експлуатації приладів, високопродуктивних машин, редукторів, машин-автоматів, автоматичних ліній, які задовольняють високим вимогам надійності й точності відтворення переміщень робочого органу і т. ін.

Для передачі механічного руху від двигуна до виконавчого органа машини або приладу використовують різні передаточні механізми. Їх застосування обумовлено необхідністю узгодженості великої швидкості руху вихідної ланки двигуна і малої швидкості руху виконавчого органа машини або приладу, а також регулювання швидкості руху виконавчого органа, зважаючи на те, що швидкість вихідної ланки двигуна – практично стала величина.

Найпоширенішими у сучасному машинобудуванні та приладобудуванні серед механічних передач є зубчасті передачі. В авіаційній техніці та наземному обладнанні аеродромів найчастіше застосовуються зубчасті передачі, оскільки вони мають незначну масу, габарити та високу надійність.

Багатоваріантний характер інженерних рішень у процесі конструювання машини вимагає достатньої детальної розробки як методів розрахунку, так і методів прийняття обґрунтованих рішень щодо подальшої експлуатації зношених деталей.

Основний матеріал. Широке використання зубчастих передач пояснюється їх перевагами перед іншими видами. На працездатність зубчастих коліс впливає велика кількість конструктивних, технологічних і експлуатаційних факторів, що не дає можливості проаналізувати вплив кожного з них окремо. Особливо актуальним це питання стоїть в авіації.

При ремонті авіаційної техніки, яка має зубчасті колеса, необхідно мати чітке уявлення, як замінити відпрацьовані колеса і при цьому не завдавши шкоди чіткій роботі техніки і не

порушити геометричні і кінематичні параметри всієї конструкції даного комплексу, та зробити все з мінімальною витратою часу.

Зубчасті колеса зі зламаним зубцем або таким, який викришився не можна залишати в механізмі, це може призвести до поломки зубців сполучених коліс та до аварії складальної одиниці. При пошкодженні зубців шестірні ремонтують в окремих випадках, тому що неможливо гарантувати 100 % цілісність і працездатність конструкції. Знос зубців зубчастих коліс не повинен перевищувати 10-20% товщини зубця по дузі початкового кола. У маловідповідальних передачах знос зубців допускається до 30% товщини зубця, у передачах відповідальних механізмів значно нижче (знос не повинен перевищувати 15 % товщини зубця).

Зубчасті колеса зі зношеними зубцями, як правило, не відновлюють, а замінюють новими, придатними. Однак на невеликих ремонтних базах, що мають необхідне обладнання, використовуються деякі способи ремонту, які рекомендуються тільки для зубчастих коліс великого діаметру. У менш відповідальних передачах зубці великих коліс з ушкодженнями економічно доцільно відновлювати. Ремонт зношених зубців роблять наплавленням, а для поламаних зубців використовують зубчасті вкладиші, що закріплюють зварюванням або гвинтами. Однак такий ремонт застосовують як тимчасовий захід.

Звичайно, іноді умільці застосовують досить складні методики гарячого наплавлення для відновлення зубців, що можна застосувати в рамках великих підприємств. Відновлення методом наплавлення – технологія, що передбачає використання електродів, які забезпечують високу міцність та рівномірність шару після термічної обробки. Важливо пам’ятати, що це складна технологія, яка не завжди дає позитивний результат. Застосовують метод наплавлення в окремих випадках, якщо потрібно підправити зношені торці. Після наплавлення колесу дають повільно охолонути.

Деформовані або відламані зубці шестірні можна відновити за допомогою електродугового або газового зварювання. Технологію завжди вибирає майстер з урахуванням характеру пошкоджень та складності ремонтних робіт.

Поверхня зубця може бути відремонтована гарячим куванням. Порівняно з методом наплавлення поверхні зубця, цей метод простий у експлуатації. Кращий стан плавлення металу і якість легко забезпечити, але метод потребує процесу гарячого кування та відповідної складної підтримки обладнання, а також має високу вартість.

Метод вставки зубця використовується для відновлення зламаного зубця. Доцільно застосовувати для окремих зламаних зубців, якщо інші зубці шестерні неушкоджені (особливо слід звернути увагу на сусідні зубці до зламаних). У той же час, якщо точність зубчастого колеса не дуже висока і робоча швидкість низька, його можна відремонтувати методом вставки.

Поверхневі (або підповерхневі) зубчасті тріщини, які все ще стабільно ростуть, можна усунути шляхом шліфування або напилювання, щоб продовжити термін служби. При видаленні тріщин необхідно також видалити деформаційний шар на вершині тріщини.

Отже, існує багато способів відновлення зубчастих коліс. Нажаль не завжди цим можна скористатись. У відповідальних та швидкохідних агрегатах таке відновлення зубчастих коліс не допускається. Необхідно колеса замінювати.

Для виконання цієї задачі потрібно, перш за все, розрахувати конкретну зубчасту передачу, що потребує заміни (рис. 1). Розрахунок зубчастих циліндричних передач доволі складний і звичайно виконується в декілька етапів.

Це розрахунок робочих поверхонь зубчастих передач на контактну міцність, розрахунок зубців на міцність при згині, перевірочні розрахунки на контактні напруження та додаткові розрахунки – перевірочний розрахунок на контактну міцність при дії максимального навантаження і перевірочний розрахунок на міцність при згині максимальним навантаженням. Крім того, не дивлячись на те, що розрахунки зубчастих передач регламентовані державним стандартом, в підручниках і навчальних посібниках пропонуються багато методик, які відрізняються, наприклад, вибором основного проектного геометричного параметру (міжосьова відстань або ділильний діаметр) або визначенням розрахункових коефіцієнтів. Це викликає певні непорозуміння і труднощі.

Для виявлення найбільш працездатної та раціональної конструкції для кожного механізму, що передбачає експлуатацію зубчастих коліс, ми рекомендуємо з початку об’єктивно оцінити якість і ефективність різних заходів, що спрямовані на економічність при

виборі конкретної методики розрахунку та підбору найбільш дешевих матеріалів коліс, а також, технологічність їх виготовлення, не знижуючи при цьому міцності та терміну працездатності.

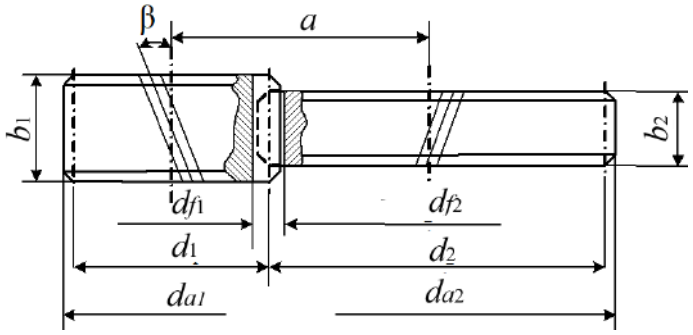


Рис. 1. Геометричні параметри зубчастої передачі

d – ділильний діаметр, d_f – діаметр кола западин, d_a – діаметр кола вершин,

a – міжосьова відстань, β – кут нахилу зубців, b – ширина вінця зубчастого колеса

Відомо, що геометричні розміри зубчастих передач певною мірою зв'язані між собою. Наприклад, міжосьова відстань, ділильний діаметр і модуль зачеплення. Причому, при проектуванні зубчастої передачі незагального призначення основним геометричним параметром є модуль зачеплення, величина якого є стандартизованою.

Для цього пропонується після визначення розрахункового навантаження, вибору матеріалу і розмірів заготовки та допустимих контактних напружень і допустимих напружень на згин перейти до визначення основного геометричного параметру зубчастої передачі – модуля зачеплення за двох умов: за умови контактної міцності робочих поверхонь зубців і умови їх міцності на згин. Далі після порівняння величини цих модулів, більший з них округлюється в бік збільшення до стандартного. Це гарантовано забезпечує міцність зубчастої передачі як з точки зору контактних напружень, так і напружень на згин. Далі виконуються розрахунки геометричних і силових параметрів звичайним шляхом.

Як показують розрахунки, виконані за цією методикою і загально прийнятими рекомендаціями, їх результати суттєво не відрізняються, але дають певну економію часу. Крім того, запропонований алгоритм розрахунку дає можливість реалізувати його на ПЕОМ. Саме цим можна здійснити більш раціональний підхід до розрахунку зубчастих передач і зменшити термін, який необхідний для ремонту техніки.

Єдиної обґрунтованої системи розрахунку та проєктування зубчастих коліс, незважаючи на існування стандарту, на даний час не існує. Отже, доцільним є проведення подальшої роботи в цьому напряму та проведення додаткових порівняльних досліджень і утворення алгоритму комплексного розрахунку циліндричних зубчастих передач. Звичайно, що після цього необхідно звернути увагу на спрощення розрахунку не тільки циліндричних зубчастих косозубих передач, а й інших видів циліндричних та конічних передач.

Промислові підприємства та експлуатуючі організації повинні мати можливість визначення, які саме зубчасті колеса вони мають замовити і що потрібно зробити для здійснення надійності і довговічності діючої військової техніки. Маючи в своєму розпорядженні інформацію, яку систематично будуть отримувати підприємства, де виготовляють зубчасті колеса, можна не тільки постійно стежити за якістю та надійністю роботи своєї продукції у промислових умовах, а також забезпечувати випуск її з гарантованим підвищеним терміном служби. На підприємствах буде можливість визначити, які саме колеса необхідно заказувати і що необхідно робити для збільшення їх надійності та довговічності.

Висновки. Досліджено вплив деяких факторів на працездатність зубчастих коліс, розглянуто питання їх заміни, ремонту та можливості визначення більш раціональної методики розрахунку циліндричних зубчастих косозубих передач. Запропонована методика повинна покращити продуктивність комплексу зубчастих коліс, що використовуються в авіаційній техніці.

Втілення цих рекомендацій та його результати допоможуть вирішувати задачі щодо підвищення надійності та довговічності зубчастих коліс, які використовуються під час ремонту агрегатів авіаційної техніки та скорочують процес виконання розрахунків та заміни зубчастих коліс в механізмах.

Список використаних джерел:

1. Олексієва Л.А. Зубчасті передачі. – Х.: ХУПС, 2009. – 62 с.
2. Олексієва Л. А., Іленко Є. Ю. Теорія механізмів та деталі машин. Курсове проєктування. – Х.: ХНУПС, 2022. – 148 с.
3. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. / В. Т. Павлище – Львів: Афіша, 2003. – 560 с.
4. Васильєва О.Е. Вплив зовнішніх динамічних навантажень на міцність зубчастих передач редукторів пожежного устаткування / О.Е. 268 Васильєва // Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми якості та довговічності зубчастих передач редукторів,їх деталей та вузлів». – Харків: НТУ «ХПІ», 2003. – Вип.№ 20.– С. 123-132.

Олексієва Людмила Андріївна *– канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів, e-mail:Lyudmyla682@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0001-5830-2720 Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків*

Іленко Євген Юрійович *– канд. техн. наук, доцент, заступник начальника кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів, e-mail: ijy280768@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0001-9405-6598 Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків*

Lyudmyla Oleksiyeva *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Structure and Strength of Aircraft and Engines, e-mail: Lyudmyla682@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0001-5830-2720 Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv*

Yevhen Ilenko *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Head of the Department of Structure and Strength of Aircraft and Engines, e-mail: ijy280768@gmail.com ORCID https://orcid.org//0000-0001-9405-6598 Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv*

УДК 621.316

Лагутін Г. І., Куравська Н. М., Куравський М. В., Гончаров В. О.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація. *В цій роботі розглядається сучасний стан технологій електроживлення безпілотних літальних апаратів, поділяючи їх на контактну зарядку автономне живлення та методи бездротової передачі енергії. Проаналізовано принципи, переваги, недоліки та сфери застосування кожного з цих підходів. Розглянуто перспективи використання технології бездротової передачі електроенергії, яка усуває необхідність електричного з'єднання між передавачем і приймачем, та визначено напрямки подальших досліджень.*

Ключові слова: *мікрохвильова передача енергії, лазерна передача енергії, бездротова передача електроенергії, безпілотний літальний апарат.*

Abstract. *This paper reviews the current state of the art in power supply technologies for unmanned aerial vehicles, dividing them into contact charging, autonomous power supply, and wireless power transmission methods. The principles, advantages, disadvantages, and applications of each of these approaches are analysed. Prospects for the use of wireless power transmission technology, which eliminates the need for an electrical connection between the transmitter and receiver, are considered, and directions for further research are identified.*

Keywords: *microwave power transmission, laser power transmission, wireless power transmission, unmanned aerial vehicle.*

Вступ

У сучасному театрі бойових дій безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали невід'ємною частиною тактичних і стратегічних операцій. Вони виконують широкий спектр завдань — від розвідки та коригування артилерійського вогню до доставки вантажів і нанесення точкових ударів. Однак ефективність використання БПЛА часто обмежується їхнім енергетичним ресурсом. Залежність від акумуляторів, які мають обмежену ємність, змушує операторів планувати польоти з урахуванням необхідності повернення на базу для підзарядки або заміни батарей. У цьому контексті технології бездротового електропостачання набувають особливої актуальності, відкриваючи нові горизонти для автономного та безперервного функціонування дронів у зоні бойових дій.

Результати дослідження

Одним із ключових напрямів розвитку є мікрохвильова передача енергії. Ця технологія використовує мікрохвилі в діапазоні частот від 300 МГц до 300 ГГц як середовище передачі енергії, що дозволяє реалізувати бездротову передачу енергії на великі відстані [1]. В основному така система складається з двох частин: підсистеми передачі мікрохвиль і підсистеми прийому мікрохвиль. Частина мікрохвильової передачі складається з джерела живлення постійного струму, генератора мікрохвильової енергії (джерело сигналу і підсилювач) і мікрохвильової передавальної антени, яка в свою чергу складається з приймальної антени і схеми мікрохвильового випрямляча. дозволяє передавати електроенергію на значні відстані за допомогою сфокусованого променя, який приймається антеною на борту БПЛА. У військових умовах це може бути реалізовано через мобільні наземні станції або повітряні платформи, що супроводжують дрони під час виконання завдань. Водночас мікрохвильова передача потребує високої точності наведення та захисту від перешкод, що ставить перед розробниками завдання створення стійких до електронної боротьби систем.

Іншим перспективним методом є лазерна передача енергії [2], яка забезпечує високу щільність потоку та точність. У бойових умовах лазер може бути інтегрований у стаціонарні командні пункти або мобільні бойові машини, що дозволяє здійснювати підживлення БПЛА під час виконання місій у межах прямої видимості. Проте лазерна технологія також має свої

обмеження — вона чутлива до погодних умов, потребує точного наведення та може становити ризик для оптики дрона.

Індуктивна передача енергії [3], хоча й обмежена короткими дистанціями, має велике значення для швидкої підзарядки БПЛА на передових позиціях. Вона може бути реалізована через автоматизовані зарядні платформи, інтегровані в бронетехніку або інженерні споруди. Такий підхід дозволяє оперативно забезпечувати енергетичну підтримку дронів без необхідності їх транспортування в тил.

Впровадження бездротового електропостачання у військову сферу має низку переваг. В першу чергу, це зменшує ризик втрати техніки через розряд акумулятора під час виконання завдань. Також забезпечується безперервне спостереження за противником, що критично важливо для розвідки та коригування вогню. В той же час, підрозділи отримують більшу гнучкість у плануванні бойових сценаріїв, оскільки маршрути польотів більше не обмежуються потребою повернення на базу.

Однак впровадження таких технологій супроводжується низкою викликів. Зокрема, джерела енергії можуть бути виявлені противником, що створює ризик їх знищення. Крім того, системи бездротової передачі енергії повинні бути стійкими до електронної боротьби, яка активно використовується у сучасних конфліктах. Надійність обладнання в умовах бойових дій, вплив погодних факторів та необхідність маскування — усе це вимагає комплексного підходу до розробки та впровадження таких рішень.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на створення захищених протоколів передачі енергії, інтеграцію систем живлення з навігаційними алгоритмами БПЛА, а також моделювання бойових сценаріїв з урахуванням енергетичних маршрутів. Використання штучного інтелекту для оптимізації енергоспоживання в реальному часі дозволить підвищити ефективність дронів та адаптувати їх до змінних умов бойового середовища.

У підсумку,

Висновки

Технології бездротового електропостачання мають потенціал радикально змінити підходи до використання БПЛА у військових операціях. Їх впровадження дозволить підвищити автономність, зменшити логістичні витрати та забезпечити перевагу на полі бою. В умовах сучасної війни, де інформація, швидкість і мобільність відіграють вирішальну роль, такі технології можуть стати ключовим фактором успіху.

Список використаних джерел:

1. Trivino A.; Gonzalez-Gonzalez J.M.; Aguado J.A..Wireless power transfer technologies applied to electric vehicles: A review. *Energies.* 2021, №14, P. 15-47
2. He T., Zhang L., Zheng G., Yang C.. Analysis and experiment of the laser wireless energy transmission efficiency based on the receiver of powersphere. *IEEE Access.* 2021. №9. P. 268-293.
3. Liu Z., Li T., Li S., Mi C.C.. Advancements and challenges in wireless power transfer: A comprehensive review. *Nexus.* 2024. №1. P. 132-144

Лагутін Геннадій Іванович – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри електротехнічних систем комплексів озброєння та військової техніки факультету післядипломної освіти Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: genna.lagutin@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-6337-1357.

Куравська Надія Миколаївна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем комплексів озброєння та військової техніки факультету післядипломної освіти Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: kn649533@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0001-7755-2899**.**

Куравський Максим Віталійович – старший викладач кафедри електротехнічних систем комплексів озброєння та військової техніки факультету

післядипломної освіти Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба**,** м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: darin6612@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0001-9360-6850**.**

Гончаров Володимир Олександрович – начальник навчально-лабораторного комплексу кафедри електротехнічних систем комплексів озброєння та військової техніки факультету післядипломної освіти Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: yaropolk1972@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0009-0001-2595-3380.

Hennadii Ivanovich Lahutin – PhD in Engineering, Senior Lecturer at the Department of Electrical Systems of Weapons and Military Equipment Complexes, Faculty of Postgraduate Education of the Ivan Kozhedub **Kharkiv** National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: genna.lagutin@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-6337-1357.

Nadia Mikolayvna Kuravska – PhD in Engineering, Senior Lecturer at the Department of Electrical Systems of Weapons and Military Equipment Complexes, Faculty of Postgraduate Education of the Ivan Kozhedub **Kharkiv** National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: kn649533@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0001-7755-2899**.**

Maksym Vitaliyovych Kuravskyi – Senior Lecturer at the Department of Electrical Systems of Weapons and Military Equipment Complexes, Faculty of Postgraduate Education of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: darin6612@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0001-9360-6850**.**

Volodymyr Oleksandrovich Honcharov – Head of the training and laboratory complex at the Department of Electrical Systems of Weapons and Military Equipment Complexes, Faculty of Postgraduate Education of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: yaropolk1972@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0009-0001-2595-3380**.**

УДК 621.396.96

Борисенко О. В., Залевський Г. С.

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РЛС МЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ХВИЛЬ

Анотація. *У роботі представлено електродинамічну модель сигналу, відбитого рухомою крилатою ракетою (КР) на виході антенної решітки (АР) радіолокаційної станції (РЛС) метрового діапазону хвиль. В основу моделі покладено метод інтегрального рівняння магнітного поля (ІРМП), який дозволяє з високою точністю отримувати характеристики вторинного випромінювання (ХВВ) ідеально провідних об'єктів резонансних розмірів. Створена електродинамічна модель забезпечує дослідження сигналів, відбитих рухомими повітряними об'єктами, при заданих параметрах траєкторії цілі, параметрах зондувального сигналу та заданій моделі АР метрового діапазону хвиль. Результати моделювання показали залежність енергетичних характеристик відбитого сигналу від типу траєкторії (діаметральна, дотична, проміжна) та центральної частоти зондувального сигналу. Встановлено, що для різних типів КР максимуми відбитої енергії спостерігаються на різних частотах, що обґрунтовує доцільність впровадження алгоритмів адаптивної зміни частоти зондування в РЛС типу П-18 «Малахіт».*

Ключові слова: *енергія відбитого сигналу, інтегральне рівняння магнітного поля, крилата ракета, математичне моделювання, радіолокатор метрового діапазону хвиль.*

Abstract. *The paper presents an electrodynamic model of the signal reflected by a moving cruise missile at the output of the antenna array of the VHF band radar antenna array. The model is based on the magnetic field integral equation method, which allows for high-accuracy computation of the secondary radiation of perfectly conducting objects of resonant sizes..*

The created electrodynamic model enables the study of signals reflected by moving air objects under specified target trajectory parameters, probing signal parameters, and the specified model of the VHF band radar antenna array.

The modeling results showed the dependence of the energy characteristics of the reflected signal on the type of trajectory (diametric, tangential, intermediate) and the central frequency of the sounding signal. It has been established that for different types of cruise missiles, the maximums of reflected energy are observed at different frequencies, which justifies the feasibility of implementing algorithms for adaptively changing the sensing frequency in radars of the P-18 "Malachite" type.

Keywords: *cruise missile, magnetic field integral equation, mathematical modeling, reflected signal energy, VHF band radar*

Вступ

В умовах російсько-української війни РЛС метрового діапазону хвиль такі як П-18, П-18МА, П-18 "Малахіт" залишаються основним джерелом інформації про повітряну обстановку, забезпечуючи виявлення та супроводження широкого спектра повітряних цілей у складній обстановці. Радіолокаційна розвідка ведеться за умов інтенсивної радіоелектронної протидії, складних погодних умовах, при постійній зміні тактики застосування засобів повітряного нападу та в умовах впливу засобів вогневого ураженні противника. Отже, підвищення ефективності виявлення повітряних цілей у тому числі і КР метровими РЛС є актуальним завданням, яке потребує створення інструментів оцінювання рівня прийнятої енергії відбитого ціллю сигналу з урахуванням типу повітряного об'єкта, траєкторії польоту, ракурсу відносно РЛС, частоти та структури зондувального сигналу а також параметрів АР. З цією метою розроблено електродинамічну модель сигналу, відбитого рухомою КР, на виході АР РЛС метрового діапазону хвиль, яка заснована на електродному методі ІРМП [1, 2]. Модель практично реалізована у програмному середовищі Mathcad 15. Розрахунок ХВВ повітряних об'єктів здійснюється у середовищі мови програмування Fortran.

Результати дослідження

Розроблена модель сигналу, відбитого КР, на виході АР РЛС метрового діапазону має блочно-модульну структуру та складається з п'яти основних блоків. Структурна схема моделі зображена на рисунку 1. Архітектура моделі дозволяє гнучко змінювати вхідні параметри для різних сценаріїв і робить модель універсальною.

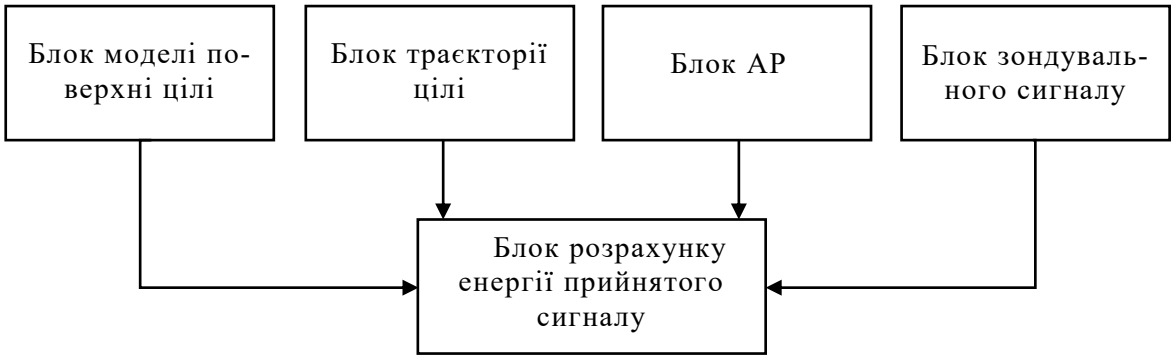


Рис. 1. Структурна схема моделі сигналу, відбитого КР, на виході АР

Склад моделі:

1. Блок моделі поверхні цілі - призначений для створення дискретизованих комп'ютерних моделей повітряних цілей та їх адаптації до обраного електродинамічного методу розрахунку ХВВ [3].
2. Блок траєкторії цілі - у блоці за вхідними даними (висота, швидкість польоту, початкові/кінцеві координати, темп оновлення, рівняння руху тощо) формується масив точок опромінення цілі, для яких визначаються дальності та кути ракурсу цілі відносно РЛС для кожної точки її дискретної траєкторії. Це забезпечує врахування змін ефективної поверхні розсіювання цілі залежно від її ракурсу.
3. Блок АР - забезпечує створення АР довільної конфігурації (число і розміщення випромінювачів) з можливістю задавати довільний амплітудно-фазовий розподіл у її розкриві, робочу частоту, висоту встановлення АР над рівнем підстильної поверхні, та режими сканування. На виході блоку формується масив даних з координатами точок прийому, що відповідають просторовому положенню елементів АР [4].
4. Блок зондувального сигналу - дозволяє моделювати зондувальні сигнали різної складності з такими змінюваними параметрами як центральна частота, ширина спектра, крок дискретизації, кількість частотних дискрет тощо і формує необхідні для подальшого розрахунку частотні сітки (зондувальні сигнали у дискретній формі).
5. Блок розрахунку енергії прийнятого сигналу - інтегрує дані з попередніх блоків, обчислюють комплексні амплітуди прийнятих сигналів, та підсумовує їх з урахуванням фазових зсувів і амплітудно-фазового розподілу в АР. Результатом розрахунку є сигнал на виході АР, за яким визначається енергія прийнятого сигналу та її зміна на траєкторії руху цілі [5].

Результати моделювання енергії сигналу, відбитого рухомою КР, на виході АР РЛС П-18 (П-18 "Малахіт") [6] метрового діапазону хвиль для різних траєкторій польоту показують залежність рівня прийнятої енергії від типу траєкторії (діаметральна, дотична, проміжна) та від центральної частоти зондувального лінійно-частотно модульованого сигналу в межах робочого діапазону частот РЛС. Моделювання дозволяє визначити конкретні частоти, при яких відбита енергія на етапах виявлення і супроводження КР набуває максимальних значень. Встановлено, що для різних типів ракет та траєкторій їх польоту максимуми відбитої енергії спостерігаються на різних частотах, що обґрунтовує доцільність модернізації програмного забезпечення існуючих РЛС, зокрема П-18 "Малахіт", шляхом впровадження алгоритмів адаптивної зміни центральної частоти зондувального сигналу залежно від траєкторії польоту (ракурсу відносно РЛС), режиму роботи (пошук або супровід) та типу цілі. Створення бази даних з діаграмами зворотного випромінювання повітряних цілей за допомогою розробленої моделі та впровадження зазначених адаптивних алгоритмів забезпечить суттєве підвищення ефективності наявних РЛС метрового діапазону та буде корисним на етапі розробки перспективних засобів радіолокації.

Список використаних джерел:

1. Sukharevsky, O., Zalevsky, G. and Vasilets, V. (2016), Modeling of Ultra wideband (UWB) Impulse Scattering by Aerial and Subsurface Resonant Objects Based on Integral Equation Solving, Advanced Ultra wideband Radar: Signals, Targets, and Applications, London, New York, J.D. Taylor ed. Boca Raton, pp. 195-235. https://doi.org/10.1201/9781315374130.

2. Вторинне випромінювання безпілотних літальних апаратів (математичне моделювання) : монографія / О.І Сухаревський та ін. ; за ред. О.І. Сухаревського. Харків : ХАІ, 2022. 270 с.

3. Борисенко О. В. Характеристики вторинного випромінювання крилатих ракет 3М-14 “Калибр” та Х-101 у метровому діапазоні хвиль. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2024. № 1 (54). С. 78–86. https://doi.org/10.30748/nitps.2024.54.09

4. Борисенко О.В., Залевський Г.С. Електродинамічна модель плоскої фазованої антенної решітки радіолокаційної станції метрового діапазону хвиль. Системи озброєння і військова техніка. 2024. № 3(79). С. 42-53. https://doi.org/10.30748/soivt.2024.79.05.

5. Борисенко О. В., Залевський Г. С. Модель сигналу, відбитого крилатою ракетою, на виході антенної решітки РЛС метрового діапазону хвиль. Системи обробки інформації. 2025. № 2(181). С. 68-77. https://doi.org/10.30748/soi.2025.181.08.

6. Мобільна радіолокаційна станція П-18 Будова, принцип дії систем та пристроїв. : Навч. посіб. / В. Тхоржевський та ін. Київ : ТОВ "Чайка-Всесвіт", 2006. 162 с.

Борисенко Олександр Васильович *– ад’юнкт науково-організаційного відділу, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, 77/79, інд. 61023, e-mail: a.v.borisenko1980@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0003-0810-4616*

Залевський Геннадій Станіславович *– доктор технічних наук, старший науковий співробітник, начальник кафедри, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, вул. Сумська, 77/79, інд. 61023, e-mail:gennadiy.zalevsky@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-6173-0571*

Oleksandr Borysenko *– Post-Graduate of scientific and organizational department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., 77/79, Ind. 61023, e-mail: a.v.borisenko1980@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0003-0810-4616*

Zalevsky Gennady Stanislavovych *– Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., 77/79, Ind. 61023, e-mail: gennadiy.zalevsky@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-6173-0571*

УДК 620.178

Джус Р. М., Рєзніков С. В.

ЗАПОБІГАННЯ ВІДМОВ ГІДРОСИСТЕМ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН, ЯКІ ВИНИКАЮТЬ ПРИ ОБВОДНЕННІ ГІДРОРІДИНИ

Анотація: *наведено результати досліджень про можливість запобігання відмов гідросистем повітряних суден, які виникають при обводненні гідрорідини, застосовуючи її фільтрацію за допомогою пересувної гідроустановки. Фільтрація відбувається на основі сепаруючого матеріалу фторопласт-4*

Ключові слова: *авіаційна техніка, повітряне судно, обводнення гідрорідини, фільтрація гідрорідини, відмова гідросистеми повітряного судна, сепаруючий матеріал, фторопласт-4.*

The results of research on the possibility of preventing failures of hydraulic systems of aircraft that occur when watering hydraulic fluid, using its filtration with the help of a mobile hydraulic installation, are given. Filtration takes place on the basis of the separating material fluoroplastic-4

Key words: *aviation equipment, aircraft, hydraulic fluid watering, hydraulic fluid filtration, aircraft hydraulic system failure, separating material, fluoroplastic-4.*

Як свідчить досвід експлуатації авіаційної техніки (АТ), відмови гідросистем (ГС) повітряних суден (ПС) найбільш часто виникають внаслідок несправностей агрегатів через корозійні ураження їх деталей. Корозія обумовлена наявностю вологи в гідрорідині (ГР). Наслідками таких відмов є: невипуск (неприбирання) шасі, закрилків; відсутність гальмування або наявність залишкового тиску в гальмах; внутрішня негерметичність основного та аварійного контурів ГС та ін. Для своєчасного виявлення і попередження відмов агрегатів ГС проводиться дуже велика кількість спеціальних заходів, які займають багато часу та коштів але не приносять ефекту, що очікується.

У роботі [1] було обґрунтовано вибір фільтрування, як способу усунення відмов агрегатів ГС літаків внаслідок обводнення ГР. Визначено, що серед методів обезводнення ГР найефективнішим і найменш енергоємним є метод фільтрування, а найбільш перспективним матеріалом для фільтрувальної установки можна вважати фторопласт-4.

Виходячи з вищевикладеного, поряд з заходами, які потребують зміни конструкції окремих агрегатів та планера, актуальним є пошук нових профілактичних заходів в боротьбі з відмовами ГС ПС. Одним з них може стати розробка конструкції пересувної фільтраційної установки для оперативного зневоднення ГР безпосередньо на стоянці літака без додаткових операцій зливу-заправки ГС та будь-яких конструктивних змін ПС. У [2-4] було розроблено оптимальні параметри для фільтроелементів, виготовлених з фторопласту-4, для ефективного відділення води від дизельного палива. Взявши за основу такий склад, параметри та конструкцію фільтроелементу, можна розробити конструкцію такої пересувної фільтраційної установки.

Пропонуєма у доповіді пересувна фільтраційна установка для зменшення затрат часу та коштів розроблена на основі існуючої гідроустановки (ГУ) для перевірки працездатності ГС літака шляхом дообладнання фільтром-водовідділювачем ФГ-11ВО, створеним на основі розробленого у [2-4] фільтроелементу з фторопласту-4. Ця установка працює від джерела аеродромного живлення постійного струму і представляє собою рухомий агрегат з рукавами для підключення до бортових штуцерів ГС літака і дозволяє перевіряти її працездатність та проводити очищення ГР від вологи.

Робота фільтра полягає у наступному. Рідина потрапляє крізь вхідний штуцер та свердління в кришці корпуса у внутрішню верхню порожнину фільтра, проходить крізь фільтруючий елемент очищення від механічних домішок та крізь свердління у перегородці потрапляє у нижню порожнину фільтра, очищується від вологи, проходячи крізь фільтруючий сепаруючий елемент та виходить крізь вихідний штуцер. Відокремлена волога під дією власної ваги опускається у відстійник в нижній частині фільтра-сепаратора та за допомогою автоматичного конденсатовідвідника зливається з системи [5-6].

Фільтр ФГ-11ВО працює при тиску до 70 кгс/см^2, з витратою крізь себе більше 8 л/хв та забезпечує очищення від механічних домішок з глибиною до 12-16 мкм та сепарування води з ефективністю 95%.

Рухома теліжка виконана за єдине ціле з корпусом ГУ і має вигляд прямокутної рами (паралелепіпеда) з 2 ручками попереду та позаду, 2 колесами, встановленими на вісі в передньої нижньої частині установки та 2 опорами у вигляді вертикальних стрижнів (труб). Корпус ГУ кріпиться до теліжки за допомогою зварного з'єднання з 2 поперечними стрижнями (трубами), в свою чергу укріпленими в нижній площині прямокутної рами.

Виходячи з реальних затрат на профілактику та усунення наслідків впливу корозійних процесів на ГС ПС можна вважати заходи та обладнання, що пропонуються, достатньо ефективними [5-6].

Таким чином, у доповіді було запрпоновано принцип дії та конструктивну схему пересувної установки для зневоднювання гідравлічної рідини на основі використання відібраного та дослідженого сепаруючого матеріалу фторопласт-4.

На основі попередніх висновків та аналізу літератури можна вважати, що застосування запропонованої ГУ безпосередньо перед заправкою ГС літака, а також у процесі її експлуатації, дозволить уникнути відмов ГС, викликаних несправностями її агрегатів через корозійні ураження їх деталей. На основі цих даних можна говорити про достатню ефективність заходів та обладнання, що пропонуються, особливо при порівнянні відносно невеликої їх вартості із вартістю усіх інших заходів, що пропонуються та вже проводяться для вирішення проблеми.

Список використаних джерел:

1. Джус Р.М. Вибір способу усунення відмов гідросистем літаків, що виникають внаслідок обводнення гідрорідини// Системи озброєння і військової техніки. Науковий журнал. – Х.: ХУПС. – № 1(9). –2007. – С. 23-26.
2. Калюжный А.Б., Платков В.Я., Сычев А.Н. Компьютерное моделирование поровой структуры фильтрующих материалов // Вісник Інженерної академії України. – Харьков, 2000. – С. 554-556.
3. Kalyuzhny A.B., Platkov V.Ya. Structure of porous materials and their permeability: determination by computer-aided simulation // Functional Materials. - 2001. - Vol. 8, №1.-P. 90-93.
4. Kalyuzhny A.B., Platkov V.Ya. High porosity tetrafluroethylene polymer for water separation from diesel fuel // Functional Material. - 2002. - Vol. 9, №2. - P. 264-267.
5. Джус Р.М., Стадніченко М.Г. Вибір способу усунення відмов гідросистем літаків, що виникають внаслідок обводнення гідрорідини. *Системи озброєння і військової техніки*. – Х.: ХУ ПС. – №1(9). – 2007. – С. 26-29.
6. Джус Р.М., Стадніченко М.Г. Усунення відмов гідросистем літаків, що виникають внаслідок обводнення гідрорідини. *Вопр. проектир. и производ. констр. ЛА*. – Х.: НАКУ „ХАИ". – Вып. 48(1). – 2007. – С.74-79.

Джус Роман Миколайович **–** канд. техн. наук, старший науковий співробітник, старший викладач кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, e-mail: dromnik1@gmail.com.

Рєзніков Сергій Володимирович **–** старший викладач кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, e-mail: dromnik1@gmail.com.

Dzhus Roman Mykolayovych **–** Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Senior Lecturer of the Department of Design and Strength of Aircraft and Engines, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: dromnik1@gmail.com.

Reznikov Serhii Volodymyrovych **–** Senior Lecturer of the Department of Design and Strength of Aircraft and Engines, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: dromnik1@gmail.com.

УДК 004.8:355

Оболонська Я. О.

ОРГАНІЗАЦІЯ ОСНОВ КІБЕРБЕЗПЕКИ У ВІЙСЬКОВИХ ПІДРОЗДІЛАХ

Анотація. *Досліджено організацію кібербезпеки у військових підрозділах, зокрема підготовку персоналу, технічний захист і реагування на кіберінциденти.*

Ключові слова: *кібербезпека, військові підрозділи, кіберзахист, інформаційна безпека, кіберінциденти, захист даних, кібергігієна, система безпеки.*

Abstract. *The organization of cybersecurity in military units was investigated, including personnel training, technical protection, and response to cyber incidents.*

Keywords: *cybersecurity, military units, cyber defense, information security, cyber incidents, data protection, cyber hygiene, security system.*

Вступ

В умовах збройної боротьби кіберпростір стає одним із ключових полів ведення війни. Кібератаки на інформаційні системи, центри управління, зв'язок і логістику військових структур становлять серйозну загрозу національній безпеці. Тому організація ефективної системи кібербезпеки у військових підрозділах є стратегічним завданням, яке передбачає створення єдиного комплексу технічних, організаційних та освітніх заходів. Вона спрямована не лише на запобігання кіберінцидентам, а й на своєчасне реагування, відновлення працездатності інформаційних систем та збереження бойової готовності підрозділів. Забезпечення належного рівня кіберзахисту вимагає підготовленого персоналу, сучасного технічного обладнання й чіткої координації дій усіх учасників кібероборони.

Результати дослідження

Організація основ кібербезпеки у військових підрозділах здійснюється через комплекс взаємопов'язаних заходів, спрямованих на створення безпечного інформаційного середовища, захист систем управління, комунікацій і даних від кіберзагроз. Основним завданням є формування у підрозділах єдиної політики кіберзахисту, яка визначає порядок доступу до інформаційних ресурсів, відповідальність посадових осіб, вимоги до технічного забезпечення та алгоритми дій у разі кіберінцидентів [1].

Першим елементом організації є нормативно-методична база, що встановлює стандарти, вимоги та процедури з кібербезпеки. У військових частинах діють внутрішні інструкції, положення та стандартизовані програми підготовки, який регламентує знання, що повинні мати військовослужбовці для безпечної роботи з цифровими пристроями і мережею. Ця база узгоджується з наказами Міністерства оборони, що визначають порядок впровадження технічних засобів захисту, моніторингу та реагування на кібератаки [2].

Другим елементом є освітньо-підготовча система. Кожен військовослужбовець проходить базовий курс із кібергігієни, який включає розпізнавання фішингових повідомлень, уникнення соціальної інженерії, безпечне користування гаджетами, паролями та службовими акаунтами [1]. Для командного складу організовуються спеціальні заняття з управління кіберризиками, виявлення вторгнень і реагування на інциденти. Підготовка здійснюється не лише теоретично, а й у формі практичних тренінгів, де відпрацьовуються сценарії кібератак і дій персоналу у кризових ситуаціях [2].

Третім складником є технічна організація кіберзахисту, що включає багаторівневу систему безпеки інформаційних ресурсів. У військових мережах застосовується шифрування даних, багатофакторна автентифікація, обмеження прав доступу, регулярне оновлення програмного забезпечення та аудит безпеки [1;2]. Системи виявлення вторгнень (IDS/IPS), фаєрволи та антивірусні засоби контролюють трафік і блокують підозрілу активність. Обов'язковим є створення резервних копій критичної інформації та збереження їх у захищених сегментах мережі.

Четвертий напрям є оперативне управління та реагування на кіберінциденти. У військових підрозділах створюються спеціальні групи або визначаються відповідальні особи за моніторинг стану інформаційної безпеки. У разі виявлення кібератаки запускається процедура локалізації, ізоляції заражених систем, аналізу причин інциденту та відновлення роботи мережі. Звіти про інциденти передаються у відповідні підрозділи кібероборони ЗСУ для централізованого аналізу та вдосконалення методів захисту [3].

П'ятий аспект контроль і вдосконалення системи кібербезпеки. Проводяться регулярні перевірки готовності персоналу, аудит безпеки мереж, тестування на проникнення і навчальні кіберманеври, метою яких є оцінка стійкості систем до атак [3]. Результати таких перевірок використовуються для оновлення політик безпеки, підвищення кваліфікації військовослужбовців та удосконалення технічних засобів.

Організація основ кібербезпеки у військових підрозділах базується на інтегрованому підході поєднанні нормативного регулювання, підготовки персоналу, технічного захисту, системного моніторингу та реагування на інциденти. Це забезпечує стійкість військових інформаційних систем, збереження бойової готовності та захист державних інтересів у кіберпросторі.

Висновки

Організація основ кібербезпеки у військових підрозділах є невід'ємною складовою обороноздатності держави. Ефективна система кіберзахисту базується на чітко визначених нормативних вимогах, високому рівні підготовки військовослужбовців, використанні сучасних технологічних рішень та постійному моніторингу безпекового стану мереж. Важливою умовою успішного функціонування є також налагоджена взаємодія між підрозділами кібероборони, технічними фахівцями та командуванням. Такий комплексний підхід дозволяє не лише своєчасно виявляти і нейтралізовувати загрози, але й формувати культуру безпечної поведінки у цифровому середовищі, що є запорукою надійного захисту військової інформаційної системи.

Список використаних джерел:

1. Sprotyv G7 - *інформаційний ресурс базових знань у військовій справі*. URL: https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2025/02/1_СТІ-000Г.97Л-ОСН-КІБЕР-КІП.pdf.
2. Основи кібербезпеки: як військовослужбовцям захиститися від ворожих кібератак. *Міністр оборони України.* URL: https://mod.gov.ua/news/osnovi-kiberbezpeki-yak-vijskovosluzhbovczyam-zahistitisya-vid-vorozhih-kiberatak.
3. Терновий, Шкуренко, Міненко. Перегляд Проблемні аспекти кібероборони: місце та роль кіберзахисту в Збройних силах України. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. URL: https://sit.nuou.org.ua/article/view/278116/276052.

Оболонська Яна Олександрівна *– студентка групи 1БС-22б, факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, громадянка кафедри Військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vn.oyana@gmail.com*

Obolonska Yana Oleksandrivna *- student of group 1BS-22b, faculty of information technologies and computer engineering, citizen of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vn.oyana@gmail.com*

УДК 004.7:004.65

Оболонська Я. О.

СТЕГАНОГРАФІЯ ЯК МЕТОД ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. *Технологія стеганографії використовується для захисту цифрової інформації шляхом приховання даних у графічних файлах без зміни їх зовнішнього вигляду.*

Ключові слова: *Стеганографія, цифрові зображення, LSB, DCT, DWT, водяні знаки, інформаційна безпека, криптографія.*

Abstract. *Steganography technology is used to protect digital information by storing data in graphic files without changing their appearance.*

Keywords: *steganography, digital images, LSB, DCT, DWT, watermarks, information security, cryptography.*

Вступ

У сучасному інформаційному середовищі безпечна передача даних є ключовим аспектом для організацій усіх рівнів від державних установ до комерційних компаній. Одним із методів захисту є стеганографія, яка забезпечує приховане передавання інформації шляхом вбудовування її в цифрові файли, зокрема зображення. На відміну від традиційного шифрування, яке лише робить дані незрозумілими для сторонніх, стеганографія приховує їх існування. Це дозволяє ефективно передавати конфіденційну інформацію, не викликаючи підозр у потенційних спостерігачів. Технологія знаходить застосування у захисті авторських прав, контролі достовірності цифрових документів та забезпеченні конфіденційності у різних сферах діяльності.

Результати дослідження

Стеганографія - це спеціальна технологія прихованого передавання інформації, яка дозволяє вбудовувати секретні дані в цифрові файли, зокрема графічні, щоб сторонній спостерігач не міг помітити їх наявність. Основна відмінність стеганографії від криптографії полягає в тому, що криптографія лише шифрує зміст, тоді як стеганографія маскує сам факт існування даних. Це дозволяє не лише захистити інформацію, а й приховати сам процес її передачі, що є критично важливим у державних, військових та корпоративних структурах, де виявлення факту передачі інформації може створювати серйозну загрозу [1].

У цифрових зображеннях приховані дані найчастіше вбудовують у пікселі за допомогою найменш значущих бітів (LSB). Метод LSB дозволяє записувати бінарну інформацію без помітної зміни кольору пікселів і є простим у реалізації. Він ефективний для невеликих обсягів даних, проте має суттєвий недолік є вразливість до стискання зображень або зміни їх формату, що може повністю зруйнувати приховану інформацію [2].

Щоб підвищити стійкість стеганографічних систем, застосовують частотні методи, такі як дискретне перетворення (DCT, DWT). У цих методах дані вбудовуються у коефіцієнти перетвореного зображення. Це робить їх менш помітними для ока та більш стійкими до змін розміру, стиснення або впливу шумів. Наприклад, при застосуванні DCT дані можуть бути вбудовані у середньочастотні коефіцієнти блоків зображення, що дозволяє зберегти приховану інформацію навіть після стискання у формат JPEG [2].

Стеганографія має широкий спектр практичного застосування. Одним із найпоширеніших напрямів є захист авторських прав. У цифрові зображення вбудовують водяні знаки, які підтверджують авторство та справжність контенту. Також стеганографія використовується для прихованої передачі конфіденційної інформації, де критично важливо, щоб сторонні особи не здогадалися про передачу даних [3].

Для підвищення рівня безпеки приховані дані часто шифрують перед вбудовуванням, створюючи подвійний рівень захисту. Навіть якщо приховану інформацію вдасться виявити, її зміст залишиться недоступним без відповідного ключа шифрування. Вона дозволяє маркувати та аутентифікувати цифрові зображення, контролювати їх цілісність і виявляти несанкціоновані

зміни. Це особливо важливо у медіа, судових доказах, освітніх матеріалах та корпоративних документах, де потрібно підтвердити авторство і захистити контент від підробки [3].

Незважаючи на численні переваги, стеганографія не позбавлена ризиків. Існує стегоаналіз – це спеціальні методи та програмне забезпечення, призначені для виявлення прихованих даних. Щоб протидіяти цьому, сучасні алгоритми вдосконалюються застосовують адаптивне або випадкове вбудовування, спеціальне кодування та стійкі до обробки методи, які зберігають дані навіть після зміни формату зображення або стискання [4].

Стеганографія тісно поєднується з іншими технологіями інформаційної безпеки. Наприклад, вона може використовуватися разом із криптографією, цифровими підписами та технологією блокчейн. Це дозволяє створювати багаторівневі системи захисту даних, де приховування факту передачі інформації, шифрування та перевірка цілісності відбуваються одночасно. Такі комбіновані підходи підвищують надійність і безпеку цифрової інформації, роблячи її стійкою до різних атак та несанкціонованого доступу [4].

Стеганографія є не лише інструментом прихованої передачі даних, а й основою сучасних технологій захисту цифрових зображень у медіа, освіті, судочинстві, корпоративних системах і військовій сфері. Вона дозволяє ефективно поєднувати маскування та шифрування даних, забезпечуючи високий рівень безпеки, конфіденційності та цілісності інформації. Сучасні дослідження підтверджують, що стеганографія продовжує залишатися актуальною та ефективною технологією захисту цифрових даних [4].

Висновки

Стеганографія є потужним засобом для захисту цифрової інформації, поєднуючи маскування даних та їх стійкість до обробки. Методи дозволяють ефективно інтегрувати дані у зображення, зберігаючи їх навіть після змін формату або стискання. Інтеграція стеганографії з криптографією, цифровими підписами та іншими технологіями безпеки дозволяє формувати комплексні механізми захисту, що гарантують конфіденційність, цілісність та контроль достовірності інформації. Незважаючи на потенційні загрози стегоаналізу, сучасні підходи, такі як адаптивне вбудовування та стійке кодування, підвищують рівень захищеності прихованих даних.

Список використаних джерел:

1. Комп'ютерна стеганографія : навчальний посібник / В. О. Хорошко, Ю. Є. Яремчук, В. В. Карпінець — Вінниця: ВНТУ, 2017. - 155 с.
2. Stuti Goel Stuti Goel. A Review of Comparison Techniques of Image Steganography. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering. URL: https://www.researchgate.net/publication/272713701_A_Review_of_Comparison_Techniques_of_Image_Steganography.
3. Simplilearn. What is Steganography? A Complete Guide with Types & Examples. Simplilearn.com. URL: https://www.simplilearn.com/what-is-steganography-article.
4. Applied Sciences. Access Denied. URL: https://www.mdpi.com/journal/applsci/special_issues/multimedia_security#published.

Оболонська Яна Олександрівна *– студентка групи 1БС-22б, факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, громадянка кафедри Військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vn.oyana@gmail.com*

Obolonska Yana Oleksandrivna *- student of group 1BS-22b, faculty of information technologies and computer engineering, citizen of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vn.oyana@gmail.com*

УДК 6.62-96

Онищенко В. М., Драгунов А. М., Щетина П. В.

ВИКОРИСТАННЯ НАДЛЕГКИХ ЛІТАКІВ ДЛЯ БОРОТЬБИ З БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

Анотація. *У роботі обґрунтовано концепцію застосування легких багатоцільових літаків як рухомих ланок нижнього рівня системи протиповітряної оборони для ураження малорозмірних ударних безпілотних літальних апаратів типу Shahed. Показано, що низька питома вартість льотної години, короткий розбіг і можливість інтеграції сучасних засобів спостереження, радіоелектронної боротьби та артилерійського озброєння дозволяють формувати масштабовану мережу швидкого реагування. Визначено пріоритетні напрями модернізації: підвищення чутливості сенсорів, скорочення часу циклу «виявлення — ураження», забезпечення конструктивної модульності та сумісності з автоматизованими системами управління засобами протиповітряної оборони. Наведено оцінку міцності конструкції при динамічних навантаженнях від стрільби з артилерійського озброєння різного калібру.*

Ключові слова: *легкі літаки, ієрархічна система протидії, балістична віддача, перевантаження, модульне озброєння.*

Abstract. *The paper substantiates the concept of using light multi-purpose aircraft as moving links of the lower level of the air defense system to defeat small-sized attack unmanned aerial vehicles of the Shahed type. It is shown that the low specific cost of the flight hour, short flight and the possibility of integrating modern means of surveillance, radio-electronic warfare and artillery weapons allow the formation of a scalable rapid response network. The priority directions of modernization have been determined: increasing the sensitivity of sensors, reducing the cycle time «detection — damage», ensuring constructive modularity and compatibility with automated air defense control systems. An assessment of the strength of the structure under dynamic loads from firing from artillery weapons of various calibers is given.*

Key words: *light aircraft, hierarchical countermeasures system, ballistic recoil, overload, modular weapons.*

Вступ. Поширення дешевих ударних безпілотних комплексів типу Shahed породжує дефіцит економічно ефективних засобів їх виявлення та ураження: традиційні зенітні ракетні комплекси витрачають дорогі боєприпаси на низьковартісні цілі, швидко вичерпуючи власний ресурс. У цьому контексті легкі багатоцільові пілотовані літаки постають конкурентною альтернативою, що поєднує низьку питому вартість польоту, здатність базуватися на коротких ґрунтових смугах і модульну архітектуру, яка дозволяє швидко змінювати конфігурацію з розвідувальної на ударну. Ключовим обмежувачем при цьому залишається необхідність збереження експлуатаційної міцності конструкції при інтеграції озброєння різної маси та калібру.

Основний матеріал.

В таблиці 1 наведена порівняльна характеристика можливих літаків при боротьби з безпілотним літальним апаратам типу Shahed.

Bristell B23 Turbo — ультралегкий рівень: швидкість зриву потоку 80–87 км/год, дозволяє зліт(посадку) з ґрунтових площадок ≤ 300 м, питомі витрати є мінімальними. При стрільбі виникає перевантаження до +2 , що не перевищує допустиме +4 . Літак не дуже швидкий (280 км/год) і має обмежений радіус дії (до 300 км), але ці недоліки компенсуються іншими, швидшими та дальніми літаками.

Shark 600 зберігає короткий зліт (65 км/год зі спойлерами), але підвищує крейсерську швидкість до 240–270 км/год, що скорочує час виходу на контакт. Корисне навантаження 250 кг дозволяє ставити 12,7-мм кулемет; пікове перевантаження від віддачі 12,7 мм досягає 5, залишаючи запас < 1 до границі міцності. Радіус дії обмежений 400–500 км.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика літаків для протидії безпілотним літальним апаратам типу Shahed

Параметр	Bristell B23 Turbo	Shark 600	Antonov Ан-28 (B1 / типовий Ан-28)
Крейсерська швидкість	240–283 км/год	240–270 км/год (економічна/типова)	≈ 335 км/год
Мінімальна швидкість польоту	~80–87 км/год	~80 км/год (з механізацією ~65 км/год)	88 км/год
Максимальна швидкість	280–300 км/год	280–300 км/год	≈ 350 км/год
Грузопідйомність / корисне навантаження	≈ 285 кг	≈ 250 кг	~3 400 кг (залежно від конфігурації)

Ан-28 забезпечує масове патрулювання: вантажопідйомність 3 400 кг, крейсерська швидкість 335–350 км/год і дальність > 1 000 км. Заводські модифікації вже містять великоформатні електро-оптичні (інфрачервоні) системи; 20-мм гармата створює локальні перевантаження ≤ 3 при допуску +4,5. Мінімальна швидкість зриву 88 км/год і довжина злітно - посадкова смуга ≥ 800 м обмежують базування, що компенсується мобільністю легких платформ. В [8] приведені дані щодо модулів озброєння їх ефективності та вплив на експлуатаційну міцність літака:

1. Кулемети 5,45–7,62 мм — легка зброя, літак майже не відчуває віддачі (перевантаження менше 1).
2. Кулемети 12,7 мм — перевантаження до 5. На Shark можна ставити, але треба використовувати лише короткі черги та амортизаторами. На літаку Bristell досягається границя міцності, ризиковано.
3. Гармати 20–23 мм — важка зброя, віддача 6–8. Можна ставити лише на Ан-28, після додаткового підсилення конструкції.
4. Гармати 30 мм і більше — занадто потужні, потребують серйозної переробки літака. На легкі літаки не ставляться, лише на Ан-28 і то за спеціальним проєктом.
5. Малі ракети (некерований реактивний снаряд) — легкі блоки до 20 кг, віддача < 2. Можна ставити на Shark або Bristell, але по одному. Повні блоки ракет — лише на Ан-28.

Як показано в роботі [3], при стрільбі з кулемета калібру 7,62 мм в консолі крила виникають коливання з перевантаженням більше одиниці, тоді як у центрі мас літака воно не перевищує 0,3

.

Висновки. Забезпечення експлуатаційної міцності та ресурсу конструкції при стрільбі з артилерійського озброєння передбачає проведення теоретичних досліджень та проведення натурного експерименту для різних типів повітряних суден. Однак це пов'язане зі значними витратами та суттєвими обмеженнями в можливості проведення широких експериментальних (натурних) досліджень.

Список використаних джерел:

1. Штефанович Р. Iranian-Made UAVs: A Technical Profile // RUSI Commentary, 2022. URL: https://www.rusi.org/explore-our-research/publications/commentary/russias-iranian-made-uavs-technical-profile
2. Bristell B23. Заводські льотно-технічні характеристики // BRM AERO, 2023. URL: https://www.bristell.com/bristell-b23/
3. В. М. Онищенко, В. Ж. Ященок. Використання математичних моделей аеропружності та бортових інформаційних систем для оцінки навантаження планера повітряного судна і ресурсу конструкції. Збірник наукових праць Державного наукового-дослідного інституту авіації, № 18
(25) (2022), с. 91-97.

4. Shark 600. Flight Manual MA-075 Rev. E // Shark.Aero, 2022. URL: https://www.shark.aero/uploads/support/manuals/shark600-ma-075-rev-e-flight-manual-en.pdf
5. Антонов АН-28. Технічний опис // Вікіпедія, 2024. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Antonov_Airlines
6. Viznacennja potencijnogo bagatofunkcional'nogo litaka dlja potreb Povitryanyh Syl ZSU //
ResearchGate, 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/378835474_…
7. Огляд EO/IR-турелей і стабілізованих підвісів // UKRSPEC-SYSTEMS, 2024. URL: https://ukrspecsystems.com/
8. Jane's Infantry Weapons 2003-2004 / Terry J. Gander. – London: Jane's Information Group, 2003. – 872 p. URL: https://archive.org/details/janesinfantrywea0000terr

Онищенко Володимир Михайлович *- кандидат технічних наук, доцент кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів, м. Харків, вул. Роганська, буд. 89, к. 2, кв. 33, інд.* 61133 *, e-mail: vladimironisenko83@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0002-6547-6646*

Драгунов Артем Миколайович *- курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: artem19992010@gmail.com*

Щетина Поліна Вікторівна *- курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: polinasetina074@gmail.com*

Volodymyr Mykhailovych Onyshenko *- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Design and Strength of Aircraft and Engines,. Kharkiv, str. Rohanska, building 89, room 2, sq. 33, ind. 61133 , e-mail: vladimironisenko83@gmail.com, ORCID*

Artem Mykolayovych Dragunov *- cadet of the Aviation Engineering Faculty of Ivan Kozhedub Kharkiv National University of the Air Force,. Kharkiv, str. Sumska 77/79, ind. 61009, e-mail: artem19992010@gmail.com*

Polina Viktorivna Shchetyna *- cadet of the Aviation Engineering Faculty of the Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub,. Kharkiv, str. Sumska 77/79, ind. 61009, e-mail: polinasetina074@gmail.com*

УДК 623.4

Пащенко В. В., Біленко О. І.

МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО ЗАГАЛЬНОЇ МАСИ КОМПЛЕКСУ БОЙОВОГО ЕКІПІРУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ОПЕРАТИВНОСТІ ПЕРЕСУВАННЯ ПРАЦІВНИКА СИЛ БЕЗПЕКИ

Анотація. *Розглянуто питання формування вимог до загальної маси комплексу бойового екіпірування працівників сил безпеки з урахуванням оперативності їх пересування під час виконання завдань за призначенням. Розроблено варіант методики формування таких вимог, яка дозволяє обґрунтовано обирати комплекс бойового екіпірування з раціональною загальною масою, забезпечуючи необхідний рівень оперативності пересування на кожному етапі виконання завдання.*

Ключові слова: *комплекс бойового екіпірування, працівник сил безпеки, показники оперативності пересування, методика формування вимог, загальна маса екіпірування.*

Annotation.The manuscript examines the formulation of requirements for the total mass of combat equipment ensembles for security forces personnel, taking into account the operational mobility of their movement during task performance. A variant of a methodology for developing such requirements has been proposed, which enables a justified selection of a combat equipment ensemble with a rational total mass, ensuring the required level of operational mobility at each stage of task execution.

Keywords: *combat equipment ensemble, security forces personnel, indicators of operational mobility, methodology for formulating requirements, total equipment mass.*

В умовах сьогодення на сили безпеки покладається широкий спектр завдань, які вимагають високого рівня ефективності їх виконання. Одним із показників ефективності виконання завдань за призначенням є оперативність їх виконання. Вона обумовлена низкою чинників, одним із них є оперативність пересування працівника сил безпеки (ПСБ), яка суттєво залежить від різноманітних навантажень, зокрема тих, що пов’язані з масою комплексу бойового екіпірування (КБЕ). Надмірна маса КБЕ може значно знизити маневрову здатність ПСБ, що своєю чергою вплине на ефективність виконання завдання за призначенням. Одним із напрямків раціонального визначення загальної маси КБЕ є створення методики формування вимог до загальної маси КБЕ з урахуванням оперативності пересування ПСБ.

Останнім часом у світовому науковому середовищі значно підвищився інтерес до досліджень впливу навантажень на фізіологічні параметри та фізичні якості військовослужбовців[1-6]. Проте в жодній з праць не наводяться дані щодо визначення раціональної маси КБЕ для виконання поставлених завдань. Отже, існує потреба у раціональному обґрунтуванні вимог до загальної маси КБЕ за умов регламентації показників оперативності пересування працівника сил безпеки.

Можливим способом формування вимог до загальної маси КБЕ є використання залежностей його допустимої загальної маси від заданих показників оперативності виконання ПСБ завдань за призначенням. На основі результатів досліджень, проведених у Національній академії Національної гвардії України, отримані відповідні залежності для певних тактичних дій [7].

Розроблена на їх основі методика формування вимог до загальної маси КБЕ з урахуванням оперативності пересування ПСБ (рис. 1) передбачає, що на основі доступних зразків елементів підсистем КБЕ формуються варіанти КБЕ Q_j (j – номер варіанта КБЕ Q) та відповідна множина цих варіантів M_Q (блок 3 алгоритму). Потім у блоці 4 алгоритму для кожного Q_j з множини M_Q визначається загальна маса КБЕ m_{Q_j} та формується відповідна множина значень загальної маси варіантів КБЕ M_{m_Q} .

Далі визначається час виконання тактичних дій ПСБ з КБЕ $t_{B_{ij}}$ на H_i -му етапі завдання

у разі використання Q_j-го КБЕ та його швидкість руху $V_{p_{ij}}$. При цьому використовуються залежності маси КБЕ від часу виконання тактичних дій, швидкості руху та відстані. Операції з визначення значень $t_{B_{ij}}$ та $V_{p_{ij}}$ виконуються для кожного H_i-го етапу завдання та значення множини M_{m_Q}. У результаті з отриманих значень $t_{B_{ij}}$ та $V_{p_{ij}}$ формуються множини значень часу виконання тактичних дій ПСБ з КБЕ M_{t_B} (блок 5 алгоритму) та швидкості руху ПСБ з КБЕ M_{V_p} (блок 6 алгоритму).

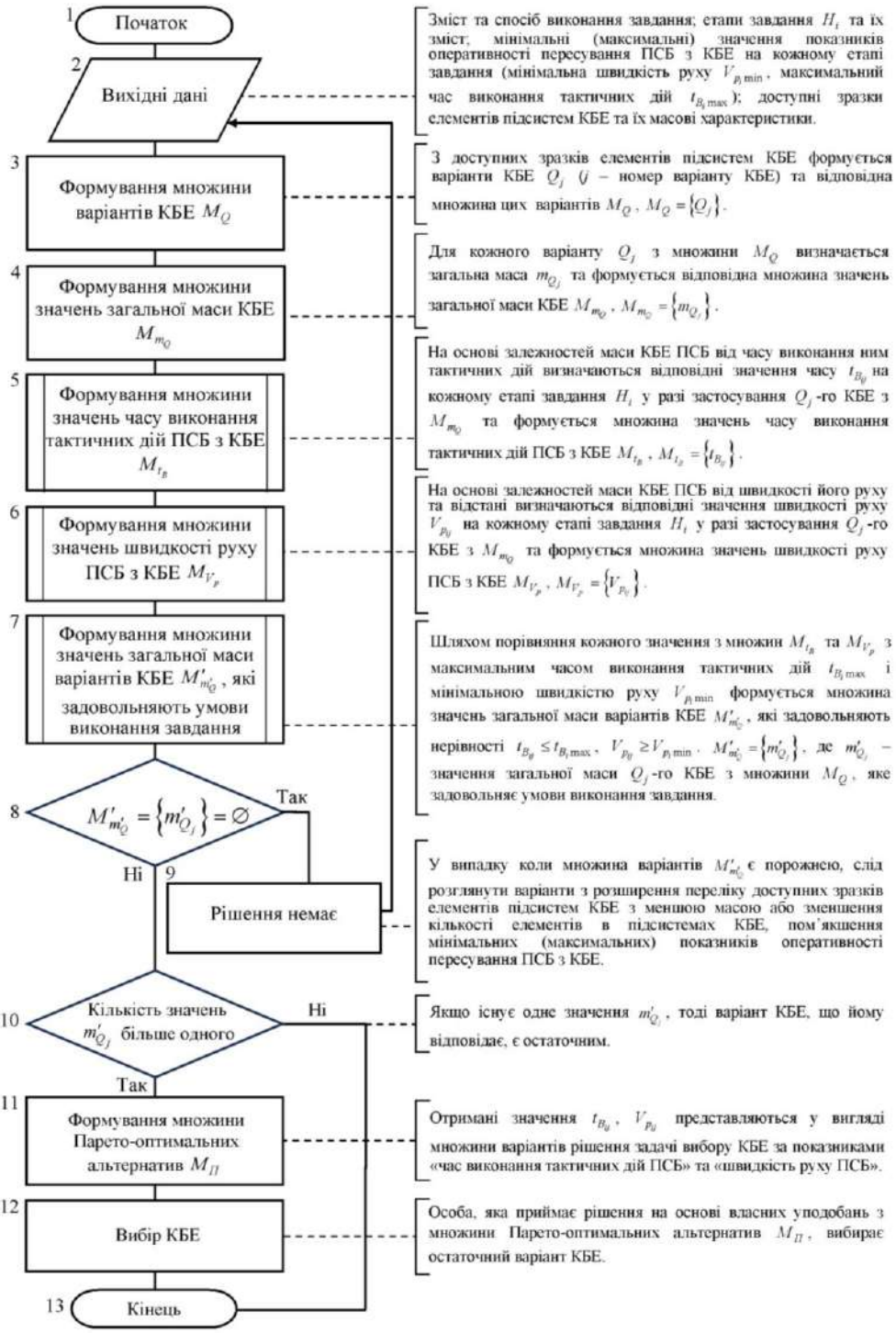


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритму методики формування вимог до загальної маси КБЕ за умов регламентації показників оперативності пересування ПСБ

Після чого кожне значення із множин M_{t_B} та M_{V_p} порівнюється з максимальним часом виконання тактичних дій $t_{B_i \max}$ і мінімальною швидкістю руху $V_{p_i \min}$. За результатами порівняння формується множина значень загальної маси варіантів КБЕ M'_{m_Q}, які задовольняють нерівності $t_{B_{ij}} \le t_{B_i \max}$, $V_{p_{ij}} \ge V_{p_i \min}$ (блок 7 алгоритму).

У випадку коли множина M'_{m_Q} порожня, тоді слід вважати, що рішення відсутнє (блок 9 алгоритму). При цьому залишається можливість зміни умов виконання завдання (розширення переліку доступних зразків елементів підсистем КБЕ з меншою масою або зменшення кількості елементів у підсистемах КБЕ, пом'якшення мінімальних (максимальних) показників оперативності пересування ПСБ з КБЕ) та повторного застосування методики.

Якщо множину M'_{m_Q} складає значення загальної маси лише одного варіанта КБЕ, тоді він є остаточним, в іншому випадку (множину M'_{m_Q} складає більше ніж одне значення загальної маси варіантів КБЕ) формується множина Парето-оптимальних варіантів $M_П$ за показниками «час виконання тактичних дій», «швидкість руху» (блок 11 алгоритму). З отриманої множини $M_П$ особа, яка приймає рішення, на основі власних уподобань вибирає остаточний варіант КБЕ (блок 12 алгоритму).

Отже, на основі залежностей допустимої загальної маси КБЕ від показників часу виконання тактичних дій і швидкості руху ПСБ розроблено варіант методики формування вимог до загальної маси КБЕ, яка враховує задані показники оперативності пересування ПСБ при виконанні завдань за призначенням. Методика дозволяє визначити раціональну загальну масу КБЕ, забезпечуючи задані показники оперативності пересування ПСБ на кожному з етапів завдання.

Напрямком подальшого дослідження є розвинення науково-методичного апарату формування вимог до КБЕ з урахуванням впливу його загальної маси на швидкість реакції та когнітивні здібності ПСБ.

Список використаних джерел:

1. Lauren Fish, Paul Scharre. The soldier's heavy load. *Super soldiers*, Sep. 2018. Washington, USA. 20 p.

2. Jeremiah M. Sasala. Individual soldier loads and the effects on combat performance : thesis. Monterey : Naval Postgraduate School, 2018. 51 p

3. The impact of carrying load on physical performance during ascending evacuation movement / Alejandra Velasco, Amitava Halder, Kalev Kuklane, Enrico Ronchi. *Fire and Materials.* 2021. Vol. 45. Issue 4. Pp. 488 – 497.

4. Effects of modern military backpack loads on walking speed and cardiometabolic responses of US Army Soldiers / David P. Looney et al. *Applied Ergonomics.* 2021. Vol. 94. Art. 103395

5. Colin Tomes, Robin Marc Orr, Rodney Pope. The impact of body armor on physical performance of law enforcement personnel: a systematic review. *Annals of Occupational and Environmental Medicine.* 2017. Vol. 29.

6. Власенко І. В., Шевченко Т. В. Врахування експлуатаційних якостей бронежилетів у службово-бойовій діяльності поліцейських. *Підготовка поліцейських в умовах реформування системи МВС України* : збірник матеріалів МВС України. Харків : ХНУВС, 2017. С. 70 – 75.

7. Пащенко В. В., Біленко О. І. Вплив маси бойового екіпірування працівника сил безпеки на час його рухової реакції. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2024. Вип. 2 (44). С. 122 – 131.

Пащенко Віктор Володимирович *– кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільної техніки навчально-наукового інституту логістики Національної академії Національної гвардії України, м. Харків, м-н Захисників України, буд 3, інд. 61001. e-mail: wwpauk@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-6859-*

0700

Біленко Олександр Іванович *– доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії забезпечення службово-бойової діяльності Національної гвардії України навчально-наукового інституту логістики Національної академії Національної гвардії України, м. Харків, м-н Захисників України, буд 3, інд. 61001. e-mail: bai69@ukr.net ORCID https://orcid.org/ 0000-0001-6007-3330*

Victor Volodymyrovych Pashchenko *– PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Automotive Engineering of the Educational and Scientific Institute of Logistics, National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Zakhysnykiv Ukrainy Square, Building 3, Ind. 61001. e-mail: wwpauk@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-6859-0700*

Oleksandr Ivanovych Bilenko *– Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher at the Research Laboratory for Supporting Operational and Combat Activities of the National Guard of Ukraine, Educational and Scientific Institute of Logistics, National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Zakhysnykiv Ukrainy Square, Building 3, Ind. 61001. e-mail: bai69@ukr.net ORCID https://orcid.org/ 0000-0001-6007-3330*

УДК 621.396.96

Колеснік О. М., Ахрименко К. В., Мосієнко В. О.

МЕТОДИКА ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТОРІВ ВВОДУ ІНФОРМАЦІЇ - ПЛАНШЕТИСТІВ РАДІОТЕХНІЧНИХ ПІДРОЗДІЛІВ ТА ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ЇХ РОБОТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ІКС “ВІРАЖ-ПЛАНШЕТ”

Анотація. *Досвід застосування підрозділами радіотехнічних військ інформаційно-комунікаційної системи (ІКС) “Віраж-планшет” показує, що використання не автоматизованих методів обробки радіолокаційної інформації, не забезпечує потрібні значення показників з повноти та якості радіолокаційної інформації. Автоматизовані методи обробки радіолокаційної інформації передбачають обробку первинної інформації від РЛС операторами вводу-планшетистами. В доповіді наведено пропозиції з покращення методики підготовки операторів вводу інформації-планшетистів підрозділів з використанням імітованої первинної радіолокаційної інформації від РЛС РТВ. Для формування імітованої первинної інформації від РЛС пропонується використовувати систему розіграшу дій на навчаннях “Віраж-РД”. РАДІОЛОКАЦІЙНА СТАНЦІЯ, ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ, ІМІТОВАНІ ТРАСИ, ТРЕНУВАННЯ ОПЕРАТОРІВ.*

Ключові слова: *комунікаційна система, радіолокація, інформація, станція.*

Annotation. *The experience of radio-technical troops in using the Virazh-Planchet information and communication system (ICS) shows that the use of non-automated methods of processing radar information does not provide the required values for the completeness and quality of radar information. Automated methods of processing radar information involve the processing of primary information from radar stations by input operators. The report contains proposals for improving the training methods for input operators of units using simulated primary radar information from RTV radar stations. To generate simulated primary information from the radar, it is proposed to use the system of actions played out in the “Virazh-RD” exercises. RADAR STATION, INFORMATION PROCESSING, SIMULATED ROUTES, OPERATOR TRAINING.*

Keywords: *communication system, radar, information, station.*

Активне застосування російською федерацією масованих комбінованих ударів безпілотних засобів повітряного нападу, крилатих та балістичних ракет, вимагає збільшення вимог до повноти, якості та достовірності результатів ведення радіолокаційної розвідки частинами та підрозділами радіотехнічних військ. Досвід бойового застосування підрозділів радіотехнічних військ, в тому числі застосування обслугами командних пунктів частин і підрозділів радіотехнічних військ інформаційно-комунікаційної системи (ІКС) “Віраж-планшет” показує, що використання не автоматизованих методів обробки радіолокаційної інформації, не може забезпечити відповідні значення показників з повноти та якості радіолокаційної інформації, яка видається користувачам.

Існуюча методика підготовки операторів вводу інформації - планшетистів побудована на використанні саме неавтоматизованих (ручних) методів обробки радіолокаційної інформації з використанням застарілих «скляних» планшетів або пультів ручного вводу інформації з ПЕОМ. Для покращення результатів ведення радіолокаційної розвідки в ІКС “Віраж-планшет” було впроваджено автоматизовані методи обробки радіолокаційної інформації операторами РЛС та планшетистами командних пунктів, які стали можливими за рахунок реалізації автоматизованого зй’ому первинної радіолокаційної інформації з використанням екстракторів радіодокаційної інформації. Екстрактори забезпечують знімання радіолокаційної інформації з РЛС радіотехнічних підрозділів в 01, 02 та 250 категоріях даних протоколу обміну даними про повітряну обстановку в Україні, який відповідає ДСТУ 4528 та

міжнародному протоколу передачі радіолокаційної інформації від радіолокаційних станцій Asterix.

Таким чином, досвід бойового застосування підрозділів РТВ та використання удосконалених автоматизованих методів обробки радіолокаційної інформації в ІКС "Віраж-планшет" визначив необхідність покращення існуючої методики підготовки операторів вводу радіолокаційної інформації-планшетистів радіотехнічних підрозділів та оцінки результатів їх бойової роботи, в тому числі під час проведення тренувань (навчань).

В доповіді наведено пропозиції з покращення методики підготовки операторів РЛС та планшетистів підрозділів з використанням імітованої первинної радіолокаційної інформації від РЛС РТВ. Для формування імітованої первинної інформації від РЛС пропонується використовувати систему розіграшу дій на навчаннях "Віраж-РД", яка дозволяє створювати імітовані траси польоту засобів повітряного нападу будь-якої складності та вводити імітовані траси до АРМ інформаційно-комунікаційної системи "Віраж-планшет". Імітовані траси використовуються в удосконаленій ІКС "Віраж-планшет" для формування первинної радіолокаційної інформації від РЛС, які необхідна для тренувань операторів вводу інформації-планшетистів.

Для оцінки результатів бойової роботи операторів вводу інформації-планшетистів пропонується автоматизовано оцінювати перелік відомих показників бойових можливостей підрозділів РТВ, до яких відносяться – коефіцієнт проводки повітряних цілей та коефіцієнт РТВ, які можливо автоматизовано розраховувати з використанням результатів об'єктивного контролю ІКС "Віраж-планшет". В доповіді показано, що використання автоматизованої обробки первинної радіолокаційної інформації від РЛС підрозділів РТВ, дозволяє суттєво скоротити час на створення звітних документів, покращити повноту та достовірність отриманих значень показників бойових можливостей за результатами проводки повітряних цілей або результатами тренувань операторів вводу інформації-планшетистів підрозділів.

Колеснік Олександр Миколайович *– кандидат технічних наук старший науковий співробітник начальник кафедри Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, e-mail: kolesnik.aleksandr@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-8213-017X*

Ахименко Катерина Віталіївна *– слухач Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, e-mail: ahremenkokata@gmail.com https://orcid.org/0009-0003-1939-015X*

Мосієнко Віталій Олександрович *– слухач Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, e-mail:mr.mosienko2030@gmail.com https://orcid.org/0009-0009-4089-2780*

Kolesnik Oleksandr Mykolayovych *– Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Department, Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, Kharkiv, Ukraine, e-mail: kolesnik.aleksandr@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-8213-017X*

Akhrymenko Kateryna Vitaliivna *– student of the Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, Kharkiv, Ukraine, e-mail: ahremenkokata@gmail.com https://orcid.org/0009-0003-1939-015X*

Mosienko Vitaliy Oleksandrovych *– student of the I. Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, e-mail:mr.mosienko2030@gmail.com https://orcid.org/0009-0009-4089-2780*

УДК 623.746

Березанський В. Г., Керест Д. О., Степаненко Д. О., Млавець В. М.

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АДАПТОВАНОГО ПІДРИВУ ПО ДАЛЬНОСТІ ДЛЯ СУЧАСНИХ АВІАЦІЙНИХ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ ПАТРОНІВ

Анотація: *у роботі проводиться комплексне дослідження щодо обґрунтування параметрів авіаційних підривачів для сучасних авіаційних артилерійських патронів. На основі аналізу існуючих аналогів виявлено ключові недоліки сучасних систем підриву підривачів, які обмежують ефективність дії проти повітряних цілей, внаслідок недостатньої гнучкості їх застосування.*

У дослідженні запропоновано підхід до розробки інтелектуальної системи керування підривом, яка забезпечує дистанційний вибір оптимального моменту детонації снаряда в реальному часі. Проведено математичне моделювання ефективно сті запропонованого рішення, яке підтвердило значне підвищення ймовірності ураження цілей у порівнянні з традиційними системами підриву. Результати дослідження мають важливе значення для розвитку перспективних систем авіаційних підривачів та підвищення ефективності ураження повітряних цілей.

Ключові слова: *підривач, авіаційний патрон, ймовірність ураження, параметри підривача, інтелектуальна система керування, детонація.*

Abstract: *the work presents a comprehensive study on the justification of parameters for aviation fuzes for modern aviation artillery rounds. Based on the analysis of existing analogues, key shortcomings of current fuze detonation systems have been identified, which limit their effectiveness against aerial targets due to insufficient flexibility of use.The study proposes an innovative approach to the development of an intelligent detonation control system that provides remote selection of the optimal projectile detonation moment in real time. Mathematical modeling of the proposed solution's effectiveness was carried out, which confirmed a significant increase in the probability of target destruction compared to traditional fuze systems. The research results are of great importance for the development of advanced aviation fuze systems and the enhancement of effectiveness in engaging aerial targets.*

Keywords:*remotely controlled fuze, aerial weapon, electronic warfare, probability of defeat, fuze parameters, intelligent control system, real-time detonation.*

The current development of aviation weapon systems is characterised by the search for new solutions to improve combat effectiveness in conditions of intense enemy opposition. The main directions for improving the effectiveness of aviation artillery shells are to increase the accuracy of targeting and to improve the design of aviation artillery shells [1-2].

Of particular relevance today is the development of aircraft fuse systems that are capable of adapting to a dynamically changing tactical air situation [3 -5]. Traditional aviation fuses, such as impact, proximity and time-delay systems, demonstrate limited effectiveness in hitting modern types of targets, especially in conditions of intense change in the conditions of combat use of air combat. This necessitates the development of fundamentally new approaches to the design and operation of aviation cartridge detonation systems.

The aim of this work is to scientifically substantiate the parameters for improving aviation artillery fuses, which is aimed at achieving maximum combat effectiveness of modern aviation cartridges. To achieve the set goal, it is necessary to solve a number of key tasks, conduct a detailed analysis of the characteristics and limitations of existing models of aviation fuses, formulate comprehensive requirements for multi-purpose detonation systems, scientifically substantiate the optimal parameters of the fuse, and evaluate the combat effectiveness of the developed systems.

The research was based on a comprehensive analysis of modern domestic and international scientific publications in the field of aviation weapons, in particular studies by leading scientific institutions and weapons manufacturers. Considerable attention was paid to the study of international

standards, including STANAG 4367 and MIL-STD-1316G [3], which regulate the requirements for detonation systems. To evaluate the effectiveness of the proposed solutions, modern methods of mathematical modelling and simulation analysis were used, which allowed for a comprehensive assessment of the combat effectiveness of the developed systems in various conditions of use.

The analysis of modern detonation systems revealed a number of fundamental limitations that affect the combat effectiveness of aviation ammunition [4]. In particular, impact aviation fuses demonstrate insufficient effectiveness when hitting air targets, in case of a miss, while non-contact fuses are highly sensitive to radio-electronic countermeasures and atmospheric conditions. Programme-time systems, in turn, are unable to respond adequately to changes in the tactical situation after firing from aviation artillery weapons.

Based on the identified shortcomings, a set of requirements for aviation artillery fuses with adaptive detonation range has been developed. The key requirements are the need to ensure full integration with the onboard systems of the carrier aircraft to provide communication for correlating the parameters for setting the detonation of the aviation artillery fuse and the ability to select the optimal detonation point in real time. To implement these requirements, it is proposed to improve the design of the fuse by including a digital programmer in the detonation system to form an executive command for the implementation of various air detonation scenarios around the target [5].

The scientific justification of the parameters of an aviation artillery fuse with an adaptive detonation range requires determining the accuracy of the projectile's hit on an air target, as well as a system response time of no more than 100 milliseconds to ensure effective combat against moving air targets. To this end, the work focuses on the development of intelligent decision-making algorithms [8] that provide for the implementation of several programmed detonation scenarios adapted to different types of air targets and combat conditions [7].

Mathematical modelling of the combat effectiveness of the developed detonation system confirmed its high efficiency. It has been established that the use of aviation artillery fuses with adaptive detonation range increases the probability of hitting typical targets by 40-60 per cent compared to traditional strike systems and by 20-35 per cent compared to modern non-contact fuses.

The study confirmed the feasibility and promise of introducing an aviation artillery fuse with adaptive detonation range. The justified parameters of the fuse detonation system ensure increased combat effectiveness, and the proposed solution allows overcoming the significant shortcomings of traditional detonation systems and provides a significant increase in the combat effectiveness of aviation artillery fuses with adaptive detonation range in modern combat conditions when engaging air targets. The particular significance of the development lies in the need to engage various types of air targets in conditions of intensive use of electronic warfare by the enemy.

Список використаних джерел:

1. U.S. Department of Defense. MIL-STD-1316F – Fuze Design: Safety Criteria. Department of Defense, 18 August 2017. (Revision F). – 4.11 “Logical Safety Functions”.
2. Березанський В.Г., Березанський О.Г., Баранік О.М., Константінов А. О., Свінціцький В.В. Підхід моделювання конструктивних параметрів снарядів авіаційних патронів із застосуванням методу узагальненого параметричного синтезу . Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, Київ. – 2020. – №3, Том 31(70). – Частина 1. – С. 25-31. https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.3-1/05.
3. NATO. STANAG 4367 – Thermodynamic Interior Ballistic Model with Global Parameters. NATO Standardization Agreement, Brussels, 2012.
4. Liu, B.; Hao, X.; Zhang, Y. Research on Anti-Frequency Sweeping Jamming Method for FMCW Radio Fuze. Applied Sciences, 2022, 12(17): 8713. DOI: 10.3390/app12178713.
5. Jia, J. Review of Anti-Informational Jamming Techniques for Radio Proximity Fuze. AIP Advances, 2025. DOI: 10.1063/5.0287152.
6. Trump, B.D.; Antunes, D.; Palma-Oliveira, J.; Keisler, J. Fuzing Technology Readiness Levels (TRLs) and Safe-by-Design for Emerging Technologies. Environment Systems and Decisions, 2025. DOI: 10.1007/s10669-025-10027-0.

7. Шевченко О.В. Методи оцінки ефективності бойового застосування високоточної зброї. Системи озброєння і військова техніка. – Вип. №3(63), 2021. – С. 56-61.
8. Chen, Q.; Hao, X.; Kong, Z.; Yan, X. Anti-Sweep-Jamming Method Based on Averaging of Range Side Lobes for Hybrid Modulation Proximity Detectors. IEEE Access, 2020, 8: 33479–33488. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2974042.

Березанський Володимир Григорович *– кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: berwog75@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська , 77/79, 61023.*

Керест Даніїл Олексійович *– здобувач вищої освіти ступеня магістр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mai: daniil.kerest35@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків. Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська , 77/79, 61023.*

Степаненко Нікіта Сергійович *– здобувач вищої освіти ступеня магістр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: tolik.tankistichek@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків. Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська, 77/79, 61023.*

Млавець Віталій Миколайович *– здобувач вищої освіти ступеня бакалавр кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: Vitaliym084@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків. Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська, 77/79, 61023*

Berezanskyi Volodymyr Hryhorovych *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Aviation Weapons Systems, e-mail: berwog75@gmail.com, Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv. Kharkiv National University of Air Forces named after Ivan Kozhedub, Sumskaya, 77/79, 61023.*

Kerest Daniil Oleksiyovych *– master's degree student at the Department of Aviation Weapons Systems, e-mail: daniil.kerest35@gmail.com Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv. Kharkiv National University of Air Forces named after Ivan Kozhedub, 77/79 Sumska Street, 61023.*

Stepanenko Nikita Serhiyovych *– master's degree student at the Department of Aviation Weapons Systems, e-mail:: tolik.tankistichek@gmail.com, Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv. Kharkiv National University of Air Forces named after Ivan Kozhedub, 77/79 Sumska Street, 61023.*

Mlavets Vitaliy Mykolayovych *– bachelor's degree student at the Department of Aviation Weapons Systems, e-mail: Vitaliym084@gmail.com, Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv. Kharkiv National University of Air Forces named after Ivan Kozhedub, 77/79 Sumska Street,*
61023.

УДК 6.62-96

В. Ж. Ященок, В. М. Онищенко, В. В. Долинюк

ЗАСТОСУВАННЯ БОЙОВИХ ГЕЛІКОПТЕРІВ ПРИ БОРОТЬБІ З БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

Анотація. *У роботі розглянуто застосування вертольотів для виявлення та знищення безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що масово використовуються російською федерацією в ході російсько-української війни (Шахед-136, Гербера, Орлан). Метою роботи є збільшення експлуатаційного ресурсу планера вертольота під час бойового застосування. Наведено огляд озброєння вертольотів (Ми-24 та Ми-8) та переваги їх застосування (тривалість польоту, боєзапас). Виконано математичне моделювання й розрахунки динамічних навантажень конструкцій при стрільбі, що базуються на рівняннях внутрішньої балістики. Отримані результати підтверджують доцільність застосування вертольотів як мобільних комплексів боротьби з БПЛА та підкреслюють необхідність подальших теоретичних досліджень і модельних випробувань для підтвердження експлуатаційної надійності.*

Ключові слова: *вертоліт, безпілотні літальні апарати, ресурс конструкції, математичне моделювання.*

Abstract. *The paper considers the use of helicopters to detect and destroy unmanned aerial vehicles (UAVs) that are widely used by the Russian Federation during the Russian-Ukrainian war (Shahed-136, Gerbera, Orlan). The aim of the work is to increase the operational life of the helicopter airframe during combat use. An overview of helicopter armament (Mi-24 and Mi-8) and the advantages of their use (flight duration, ammunition supply) is provided. Mathematical modeling and calculations of dynamic loads on structures during firing based on internal ballistics equations were performed. The results confirm the feasibility of using helicopters as mobile complexes for combating UAVs and emphasize the need for further theoretical research and model testing to confirm operational reliability.*

Keywords: *helicopter, unmanned aerial vehicles, structural life, mathematical modeling.*

Вступ. У теперішній час найбільша проблема під час ведення бойових дій є протидія великій кількості БПЛА, які ефективно використовуються у Російсько-Українській війні. Щодня у великих кількостях РФ використовує БПЛА типу Гербера, розвідувальні дрони Орлан та найбільш небезпечний та масовий БПЛА – Шахед-136. Для боротьби українські війська протиповітряної оборони використовують велику кількість різних засобів їх знешкодження. Одним з найбільш ефективних засобів ураження БПЛА є застосування малої авіації у складі легких літаків або вертольотів. У даній статті основна увага приділяється застосуванню вертольотів у боротьбі з БПЛА. Основна мета – забезпечити експлуатаційний ресурс планера вертольота в процесі бойового застосування кулеметів.

За допомогою вертольотів можна забезпечити велику ефективність виявлення та знешкодження БПЛА за допомогою озброєння, які можна застосовувати і встановлювати безпосередньо на вертольоті. Пропонується використовувати озброєння з автоматичним керуванням.

На вертольоті Ми-24 [1] встановлюється: гондола універсальна вертолітна ГУВ-8700, яка укомплектована кулеметом ЯкБ-12,7 калібром 12,7×108 мм та двома кулеметами ГШГ 7,62×54 мм.

Для вертольоту Ми-8 [1] : гондола універсальної вертолітної ГУВ-8700 , яка укомплектована: кулеметом ЯкБ-12,7 калібром 12,7×108 мм та двома кулеметами ГШГ 7,62×54 мм, а також кулеметами ПКТ 7,62×54 мм, які встановлюються у вхідних дверях вертольота, якими оперує стрілок.

В табл.1 наведені основні характеристики озброєння вертольотів.

Таблиця 1. Основні характеристики озброєння вертольотів

Вертоліт	Озброєння	Калібр	Швидкість кулі, м/с	Частота пострілів, постр./хв	Маса кулі, кг	Довжина ствола, мм
Ми-24 Ми-8	ЯкБ-12,7	12,7×108 мм	810	4000-4500	0,048	1005
	ГШГ-7,62×54	7,62×54 мм	800-860	5000-6000	0,0096	560-605

Виявлення БПЛА з вертольотів проводиться візуальним спостереженням екіпажу та у нічний час за допомогою фари-прожектора та пристроїв теплового, нічного бачення. Великою перевагою

застосування вертольотів є змога помістити на борт: велику кількість пального для забезпечення довготривалого польоту, озброєння для ураження з великою кількістю патронів.

Основною перевагою вертольотів є великий запас по швидкості, яка для вертольота Ми-8 сягає від 0 км/год до 250 км/год, та висотою стелі від 4500м до 7300м в залежності від модифікації, а для вертольота Ми-24 від 0 км/год до 315 км/год та висотою стелі до 4600м. Оскільки БПЛА Шахед-136 летить на крейсерському режимі зі швидкістю 180 км/год, максимальна висота польоту, яку він може досягнути, сягає не більше 4 км. При застосуванні вертольотів є великий діапазон для виявлення та знешкодження БПЛА.

Забезпечення експлуатаційної міцності та ресурсу конструкції при стрільбі вимагає теоретичних досліджень і модельних випробувань, які дорогі й мають певні обмеження. Проведено аналіз навантаження бойового вертольота при стрільбі з кулемета. Використані рівняння внутрішньої балістики та аеропружності для опису збуреного руху, пружних коливань і навантажень конструкції [4].

Розраховано навантаження консолі крила вертольота при стрільби з кулемета ЯкБ-12,7, який встановлюється на фермі. Оцінимо основні параметрів стрільби:

– патрони, що застосовуються – 12,7×108 мм, маса кулі m = 0,048кг;
– швидкість кули при вилиті з кулемета, V = 820м/с;
– темп вогню N = 4000 пострілів/хв = 66,667 пострілів/секунду;
– коефіцієнт імпульс пострілу від порохового заряду: $k_{газ}$ = 1,25;

Імпульс пострілу:

$$I = mv\, k_{газ} = 0.048 \cdot 820 \cdot 1.25 = 49.20 \text{ кгм/с};$$

Середня сила від віддачі при темпі 4000 пострілів/хв:

$$F_{сер} = NI = 49.2 \cdot 66.667 = 3280 \text{ Н};$$

Момент від віддачі:

$$M = Fl = 3280 \cdot 0.5 = 1640 \text{ Н/м};$$

Прискорення вертольота від сили віддачі:

$$\text{а} = \frac{F}{M} = \frac{3280}{9000} = 0{,}374 \text{ м/с}^2;$$

Частота пострілів при 4000пострілів/с:

$$f = \frac{N}{60} = \frac{4000}{60} = 66{,}7 \text{ Гц};$$

На рис.1 показана зміна перевантаження на кінці крила вертольота при пострілах кулемета, тривалість черги складала 0,25с. Дані отримані на основі розрахункової моделі, що представлена в роботі [1].

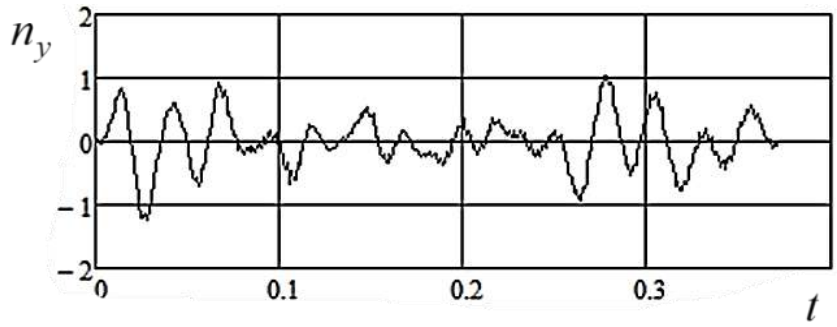


Рис.1. Зміна перевантаження на кінці крила.

Висновки: на основі математичних розрахунків сформована розрахункова модель нестаціонарного явища аеропружності при стрільбі. На основі сумісного рішень рівнянь аеропружності та співвідношень для задачі внутрішньої балістики отримані дані динамічної реакції вертольота. З'являється можливість проведення широких параметричних досліджень щодо впливу основних експлуатаційних факторів на рівень вібрації конструкції і темп витрати ресурсу.

Список літератури

1. Експлуатаційна надійність авіаційної техніки і безпека польотів за 2023 рік. Інформаційний випуск. В.М. Бояров, О.В. Ільїна, Ю.О. Камак, В.М. Феденько, Д.Т. Шевченко, В.М. Чуприна – Черкаси: ДНДІ ВС ОВТ, 2024 р. – 102 с.
2. Балістика / Г. О. Бойко// Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / : І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2003.
3. Р.В. Корольов, Н.О. Королюк, О.В. Петров, К.В. Сюлев. Аналіз сучасних засобів знищення безпілотних літаль-них апаратів. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил, 2017, № 4(53).
4. Bisplinghoff R. L. Aeroelasticy / R. L. Bisplinghoff, H. Ashley, R. L. Halfman. – New York: Dover Publications. inc, 1996. – 880 c.
5. В. М. Онищенко, В. Ж. Ященок. Використання математичних моделей аеропружності та бортових інформаційних систем для оцінки навантаження планера повітряного судна і ресурсу конструкції. Збірник наукових праць Державно-го науково-дослідного інституту авіації, № 18 (25) (2022), с. 91-97.

Ященок Володимир Жоржевич – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів, м. Харків вул. Сумська буд. 77/79, інд. 61002, e-mail: zhorzhevich71@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0002-7806-8078

Yashchenko Volodymyr Zhorzhevych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Aircraft and Engine Design and Strength, Kharkiv, 77/79 Sumska St., ind. 61002, e-mail: zhorzhevich71@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0002-7806-8078

Онищенко Володимир Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів, м. Харків, вул. Роганська, буд. 89, к. 2, кв 33, інд. 61172 , e-mail: vladimironisenko83@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-65470-6646

Onishchenko Volodymyr Mykhailovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Aircraft and Engine Design and Strength, Kharkiv, 89 Roganska St., apt. 2, apt. 33, ind. 61172, e-mail: vladimironisenko83@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-65470-6646

Долинюк Вадим Володимирович – курсант Харківського Національного Університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Броди, вул. Сизова, буд. 23, інд. , e-mail: dolunyukvadum@gmail.com

Dolyniuk Vadym Volodymyrovych – cadet of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Brody, Sizova St., building 23, ind. , e-mail: dolunyukvadum@gmail.com

УДК 629.7.069

Власюк Д. В., Малеєва А. М., Зєнович О. Є.

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ БЛОКУ РЕГУЛЮВАННЯ І ЗАХИСТУ ТИПУ БРЗ-1 ЛІТАКА МІГ-29

***Анотація**: розглянуто призначення, принцип дії та можливості вдосконалення блоку регулювання і захисту типу БРЗ-1, що використовується у системі електроживлення літака МіГ-29. Запропоновано технічні рішення для підвищення надійності, швидкодії та інтеграції цифрових систем контролю. Обґрунтовано доцільність переходу від електромеханічних компонентів до мікропроцесорних систем з автоматичною діагностикою.*

***Abstract:** The paper presents the purpose, operation principle, and possible improvements of the MiG- 29 aircraft's BRZ-1 regulation and protection unit. Proposed technical solutions aim to enhance reliability, response speed, and integration of digital diagnostic systems. The paper substantiates the feasibility of transitioning from electromechanical to microprocessor-based automatic control and protection systems.*

***Ключові слова:** МіГ-29, блок регулювання і захисту, БРЗ-1, електроживлення, модернізація.*

***Keywords:** MiG-29, regulation and protection unit, BRZ-1, power supply, modernization.*

Блок регулювання і захисту типу БРЗ-1 є основним елементом системи живлення постійного струму літака МіГ-29. Його функції полягають у стабілізації напруги, захисті електричних ланцюгів від перевантажень, коротких замикань та небезпечних коливань параметрів мережі. БРЗ-1 контролює роботу генераторів, здійснює перерозподіл навантаження між споживачами та виконує функції автоматичного відключення несправних ділянок системи.

Принцип дії базується на використанні електромагнітних реле, стабілізаторів і випрямлячів, що формують зворотний зв'язок між параметрами напруги та струму. Регулюючі каскади забезпечують підтримання номінальної напруги 27 В постійного струму, а релейно-контактна логіка реалізує захист і сигналізацію несправностей.

Серед основних недоліків наявної конструкції можна відзначити низьку швидкодію релейних схем, велику масу, підвищене тепловиділення, а також значне зношування контактів у процесі експлуатації. Такі обмеження знижують надійність під час інтенсивних навантажень і створюють додаткові вимоги до технічного обслуговування.

Для усунення вказаних недоліків запропоновано низку технічних рішень: – замінити електромеханічні елементи на твердотільні комутаційні модулі з мікроконтролерним керуванням;

– впровадити систему цифрової діагностики, що зчитує температуру, струм, напругу та стан ключових вузлів у реальному часі;

– реалізувати алгоритми адаптивного регулювання, які змінюють пороги спрацьовування захисту залежно від режиму польоту;

– використати друковані плати з підвищеною термостійкістю та захистом від вібрацій;

– забезпечити обмін даними з центральним обчислювальним комплексом літака через цифрову шину для відображення параметрів БРЗ-1 у кабіні пілота.

Розширення функціоналу блоку можливе шляхом впровадження модуля прогнозування відмов, який аналізує статистику навантажень і попереджає екіпаж про потенційні несправності. Це дозволить перейти до концепції "інтелектуальної" системи енергозабезпечення літака.

Перспективним напрямом є інтеграція оновленого блоку БРЗ-1 до складу цифрової системи керування живленням літака. Такий підхід дозволить автоматично розподіляти енергоресурси між приладами навігації, зв'язку та системами озброєння. Це відповідає тенденціям модернізації авіаційних систем країн-членів НАТО та сприятиме підвищенню бойової ефективності літака МіГ-29.

Окрім удосконалення апаратної частини, важливим напрямом модернізації БРЗ-1 є оновлення програмно-алгоритмічного забезпечення.

Використання мікропроцесорного контролера дозволить реалізувати інтелектуальні функції аналізу стану системи, зокрема:

– автоматичну ідентифікацію несправностей за сигнатурою струмових коливань;
– адаптивне калібрування датчиків у польових умовах без зняття блоку;
– збереження журналу подій у енергонезалежній пам’яті з можливістю передачі даних через інтерфейс обміну при технічному обслуговуванні.

Такі функції значно скорочують час пошуку причин відмов і полегшують роботу технічного складу. Крім того, завдяки впровадженню алгоритмів самодіагностики, система зможе переходити в резервний режим без втрати стабільності напруги на критичних споживачах, таких як навігаційне та прицільно-обчислювальне обладнання.

Особливу увагу доцільно приділити підвищенню електромагнітної сумісності (ЕМС) БРЗ-1. Заміна релейних каскадів на напівпровідникові ключі з вбудованими фільтрами гармонік дозволить знизити рівень завад у бортовій мережі, що позитивно вплине на точність роботи систем зв’язку та навігації.

Додаткове підвищення ефективності можливе шляхом інтеграції системи термоконтролю. Використання датчиків температури з цифровим інтерфейсом дасть змогу здійснювати прогнозування перегріву та регулювати режим охолодження блоку. Це подовжить строк служби компонентів і зменшить ризик відмов під час тривалих польотів у складних кліматичних умовах.

Для практичного впровадження модернізованого БРЗ-1 доцільно провести його стендові випробування з імітацією аварійних режимів. Порівняльний аналіз із базовою версією має підтвердити покращення параметрів стабілізації, зменшення часу реакції системи та зниження теплових втрат.

Результати випробувань можуть стати підґрунтям для створення уніфікованої лінійки блоків регулювання і захисту нового покоління, придатних до застосування не лише на МіГ-29, а й на модернізованих літаках типу Су-27 та навчально-бойових Л-39.

Таким чином, модернізація блоку БРЗ-1 на основі мікропроцесорних технологій і цифрової діагностики є доцільним і перспективним кроком у напрямі підвищення ефективності, надійності та бойової готовності авіаційної техніки Повітряних Сил України.

Список використаних джерел:

1. Зєнович О.Є., Кривонос В.М. Системи електропостачання повітряних суден. – Х.: ХНУПС, 2021.
2. Кононов Б.Т., Лагутін Г.І. Електричні машини. – Х.: ХНУПС, 2015.
3. Долгополов В.І., Єгоров С.П. Електронні системи регулювання та захисту авіаційних бортових мереж.
– К.: КВІ, 2020.
4. Інструкція з технічної експлуатації літака МіГ-29. – Військове видання, 2019.

Власюк Дмитро Володимирович – *курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: dimasvlasiuk@gmail.com*

Малеєва Аліна Миколаївна *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: alinka20.16maleeva@gmail.com*

Зєнович Олександр Євгенович – *кандидат технічних наук, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, доцент кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, email: aezenovich@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9982-6274.*

Vlasiuk Dmytro Volodymyrovych – *cadet from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e- mail: dimasvlasiuk@gmail.com*

Maleieva Alina Mykolaivna – *cadet from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e- mail: alinka20.16maleeva@gmail.com*

Zienovich Oleksandr Evgenovych – *Candidate of Technical Sciences, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Associate Professor of the Department of Aviation Equipment of Airplanes and Helicopters, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, email: aezenovich@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9982-6274.*

УДК 629.7.069

Підлісний А. О., Георгієв Ю. В.

СКЛАД, ПРИЗНАЧЕННЯ, ПРИНЦИП РОБОТИ, КОНТРОЛЬ ТА ПЕРЕВІРКА ЗАРЯДНИХ АКУМУЛЯТОРНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ АВІАЦІЙНИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ, АНАЛІЗ ТИПОВИХ НЕСПРАВНОСТЕЙ, ШЛЯХИ ЇХ ПОШУКУ ТА УСУНЕННЯ

Анотація: *у тезах розглянуто склад, призначення та принцип роботи передвижних зарядних акумуляторних станцій (ПЗАС) для обслуговування авіаційних акумуляторних батарей. Особливу увагу приділено процедурам контролю, перевірки та типовим несправностям, а також методам їх діагностики та усунення.*

Ключові слова: *зарядка акумуляторів, акумуляторна станція, авіаційна акумуляторна батарея, контроль, перевірка, несправність, діагностика.*

Abstract: *the thesis examines the composition, purpose and operating principle of mobile charging battery stations (MCBS) for servicing aviation battery packs. Particular attention is paid to control procedures, testing, typical malfunctions, as well as methods for their diagnosis and elimination.*

Keywords: *battery charging, charging station, aviation battery pack, control, testing, malfunction, diagnosis.*

Склад та призначення ПЗАС

Передвижна автоматизована зарядка електростанція (наприклад, модель ЕСБА-8-В3) є мобільним комплексом, змонтованим на шасі автомобіля (наприклад, ГАЗ-66-15) у кузові- фургоні. Основними складовими є:

Джерело живлення (наприклад, електростанція ЕСБ-4С-0/230-М1). Автоматизовані заряджно-розрядні установки (типу УЗА-СЦ).

Стеляки для транспортування, зберігання та заряду/розряду акумуляторних батарей (типів 15СЦС-45Б, 20НКБН-25У3 тощо).

Щит управління та розподільчий щит.

Система вентиляції та електропідігріву кузова.

Комплект контрольно-вимірювальних приладів (мегаомметр, термометр) та запасних частин (ЗІП).

Призначенням ПЗАС є забезпечення в польових умовах заряду, розряду (контрольного), контролю технічного стану та технічного обслуговування різних типів авіаційних акумуляторних батарей (срібно-цинкових, кислотних, щелочних).

Принцип роботи

Станція може живитися від власної електростанції або від зовнішньої промислової мережі. Електроенергія через щит управління подається на зарядні установки (УЗК), які забезпечують автоматизований заряд/розряд акумуляторів згідно з заданими режимами. Установки УЗА-СЦ забезпечують автоматичний контроль напруги на акумуляторах та їх відключення після завершення режиму. Процеси заряду/розряду відбуваються на стелажах, обладнаних спеціальними пристосуваннями для підключення. Для безпеки та підтримання мікроклімату функціонують системи вентиляції та опалення кузова.

Контроль та перевірка

Перед початком роботи та під час експлуатації проводяться наступні види контролю та перевірок:

Візуальний огляд: перевірка стану та надійності кріплення складових частин станції.

Вимірювання опору ізоляції: проводиться мегаомметром (наприклад, Ф4102/1) щодо корпусу та між собою. Норма: не менше 3 МОм перед роботою, не менше 0.5 МОм під час експлуатації.

Перевірка якості заземлення: опір заземлюючого пристрою має бути не більше 25 Ом.

Перевірка апаратури захисту: функціонування захисного відключаючого пристрою перед кожним підключенням до мережі.

Перевірка систем: періодично (що 500 год.) перевіряються системи вентиляції, електропідігріву та освітлення кузова.

Контроль параметрів заряду/розряду: здійснюється за показами щитових приладів (вольтметр) згідно з інструкціями для конкретних типів акумуляторів.

Аналіз типових несправностей та методи їх усунення

Типові несправності ПЗАС та способи їх усунення наведені в таблиці.

Найменування несправності	Ймовірна причина	Метод усунення
Низький опір ізоляції станції	Забруднення, вологість, пошкодження ізоляції окремих елементів	Виявити ділянку з низьким опором, очистити від пилу, висушити, усунути дефект
Відсутність напруги 220 В у розетці XS29	Перегорів запобіжник FU16, обрив у ланцюзі	Замінити запобіжник, прозвонити та відновити ланцюг
Відсутність напруги 12 В у розетці XS28	Перегорів запобіжник FU17, обрив у ланцюзі	Замінити запобіжник, прозвонити та відновити ланцюг
Не забезпечується вентиляція кузова	Відмова вентилятора, перегорів запобіжник (напр., FU15), обрив ланцюга живлення реле КУ3	Перевірити/замінити вентилятор, замінити запобіжник, відновити ланцюг
Не забезпечується електропідігрів кузова	Відмова електронагрівача (напр., ЕК3), перегорів запобіжник (напр., FU12, FU13), обрив ланцюга живлення реле КУ4	Перевірити/замінити нагрівач, замінити запобіжник, відновити ланцюг
Не горить лампа сигналізації "МЕРЕЖА"	Перегорів запобіжник (напр., FU20), обрив у ланцюзі	Замінити запобіжник, прозвонити та відновити ланцюг

Таблиця 1.1 – Основні причини відмов ПЗАС Шляхи пошуку несправностей

Пошук несправностей проводиться методом послідовної перевірки: Візуальний огляд: виявлення очевидних пошкоджень, обривів, ознак перегріву. Перевірка запобіжників: найпоширеніша та перша за пріоритетом операція.

Вимірювання напруги: за допомогою вольтметра перевіряється наявність напруги на ключових точках ланцюга (виходи щитка, клеми апаратури).

Вимірювання опору (прозвонка): при знятому напруженні перевіряється цілісність проводів, обмоток, справність комутаційних апаратів.

Вимірювання опору ізоляції: для виявлення дефектів ізоляції.

Список використаних джерел:

1. Керівництво по експлуатації передвижної автоматизованої зарядної електростанції ЕСБА-8-В3. ШТ.650.163 РЭ.
2. Мартинюк В.С. Авіаційні електричні машини та апарати. – К: НАУ, 2012.
3. Зєнович О.Є., Кабаков В.О. Керівництво до лабораторних занять з дисципліни “Електропостачання літальних апаратів”. Х.:ХІ ВПС,2003.
4. Зєнович О.Є., Кривонос В.М. “Системи електропостачання повітряних суден”. Навчальний посібник - Х: ХНУПС, 2021.

Підлісний Артем Олексійович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, командир відділення 242 навчальної групи, Харків, Україна; email: artempidlisnij714@gmail.com;*

Георгієв Юрій Вікторович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966.*

Artem Pidlisnyi *– Kharkiv National University of Air Forces named after Ivan Kozhedub, Squad Commander of Study Group 242, Kharkiv, Ukraine; email: artempidlisnij714@gmail.com;*

Yurii Georgiev *– Kharkiv National University of Air Forces named after Ivan Kozhedub, Senior Lecturer of the Department No. 203, Kharkiv, Ukraine; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966.*

УДК 629.7.069

Швець П. М., Хлоп'ячий В. А.

ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗАПУСКУ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА

Анотація. *У тезі розглянуто сучасний стан систем запуску авіаційних двигунів та їх вплив на ступінь готовності літального апарату до польоту, надійність роботи й ресурс двигуна, визначено недоліки систем запуску авіадвигуна з використанням програмно-часового агрегату. Обґрунтовано необхідність удосконалення систем запуску авіаційних двигунів. Запропоновано замість жорсткої часової програми використовувати комбінацію сигналів параметрів що характеризують поточний стан авіаційного двигуна.*

Ключові слова: *авіаційний двигун; система запуску; програмно-часовий агрегат; алгоритм керування; пускова автоматика; параметри двигуна; удосконалення системи запуску.*

Abstract. *The paper examines the current state of aircraft engine starting systems and their influence on the aircraft's readiness for flight, operational reliability, and engine service life. The drawbacks of engine starting systems based on program–time control units are analyzed. The necessity of improving aircraft engine starting systems is substantiated. It is proposed to replace the rigid time-based program with a control algorithm that utilizes a combination of signals from parameters characterizing the current state of the engine during the start sequence.*

Keywords: *aircraft engine; starting system; program–time control unit; control algorithm; starting automation; engine parameters; improvement of the starting system.*

Запуском авіаційного двигуна називають процес його виводу на мінімальний режим стійкої роботи (режим малого газу): зі стану покою – у наземних умовах або із режиму авторотації – в польоті.

Характеристики системи запуску авіаційного двигуна безпосередньо впливають на ступінь готовності літального апарата до польоту, на безпеку польоту, на надійність роботи й ресурс двигуна.

Розкручування валу авіадвигуна в процесі запуску здійснюється за допомогою електричного, повітряного або турбостартера, який розкручує вал ротора авіаційного двигуна до частоти обертання, при якій у камерах згоряння створюється такий тиск і витрата повітря, які забезпечують нормальне загоряння палива. При цій частоті обертання включається подача пускового палива та запалювання, починає працювати турбіна.

Процес запуску управляється програмним пристроєм (автоматичною панеллю запуску), що є електромеханічним програмно-часовим агрегатом, який відпрацьовує закладену жорстку часову програму. Перевагами використання програмного пристрою є його простота та гарантована повторюваність, разом з тим він має ряд недоліків:

- неадаптивність до реальних умов запуску – часова циклограма не враховує стан двигуна: температуру повітря, в'язкість мастила, заряд акумулятора, знос підшипників, що може призвести до зриву запуску.
- зайві енергетичні втрати – якщо двигун запустився швидше, стартер усе одно продовжує працювати відповідно циклограми витрачаючи енергію акумуляторної батареї і зношує муфту вільного ходу або редуктор.
- відсутність зворотного зв'язку – програмний механізм не отримує інформацію про фактичні параметри запуску (оберти, температуру, тиск), тому не може виявити аномалії чи аварійні режими на ранній стадії.
- відсутність можливості діагностики – програмний механізм не дає інформацію про те, скільки часу реально тривав пуск, коли з'явилося горіння, тощо – неможливо аналізувати стан двигуна або системи запуску.

Доцільно запровадити систему управління запуском авіаційного двигуна де замість жорсткої часової програми використовуватиметься комбінація сигналів параметрів що характеризують поточний стан авіаційного двигуна:

- швидкість обертання ротора авіаційного двигуна N,
- градієнт швидкості обертання ротора авіаційного двигуна dN/dt – швидкість приросту N,
- струм електростартера $I_{СТ}$ (крутний момент стартера $M_{СТ}$),
- стрибок T_4 свідчить про запалення та горіння палива в камері згорання авіаційного двигуна,

- тиск в компресорі P_3.

Відключення стартера слід здійснюватися після виходу авіаційного двигуна на режим стабільного обертання під власною газодинамікою і появою тяги.

Список використаних джерел:

1. Обносов К.В. Шляхи удосконалення систем запуску авіаційного двигуна літаків військово-транспортної авіації в особливий період // НУОУ. *Збірник наукових праць кафедри авіації*, Київ, 2021, № 9.2: II-35-II-37.

2. Сорокин Д.М., Заріцький І.В. Шляхи удосконалення електричної системи запуску авіаційних двигунів при модернізації літаків військово-транспортної авіації // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. - Київ, 2014. - № 10(17). - С. 131-136.

3. Чоха, Ю. М. Особливості використання експертної системи діагностування газотурбшного двигуна в процесі його експлуатації // Вісник НАУ - Київ, 2003. - № 3-4. - С. 50-53.

4. Владов С. І. нейромережеві системи автоматизації моніторингу технічного стану бортових систем авіаційного транспорту / С. І. Владов // Інтелектуальні системи автоматизації : монографія / Аврунін О. Г. та ін. – Кременчук : Новабук, 2021. – Розд. 3. – С. 123-207.

Швець Петро Миколайович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, курсант 242 навчальної групи, Харків, Україна; email: petro200501@gmail.com;*

Хлоп'ячий Вячеслав Анатолійович *– Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, професор кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів, Харків, Україна; email: 0674648530@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4038-9551.*

Shvets Petro Mykolayovych *– Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, cadet of the 242nd training group, Kharkiv, Ukraine; email: petro200501@gmail.com;*

Khlopyach Vyacheslav Anatoliyovych *– Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Professor of the Department of Aviation Equipment of Airplanes and Helicopters, Kharkiv, Ukraine; email: 0674648530@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4038-9551.*

УДК 629.7:681.5

Збризький В. В., Лиходєєв О. С.

ІНТЕГРАЦІЯ ДАНИХ ВІД БАРОМЕТРИЧНОГО ТА СУПУТНИКОВОГО ВИСОТОМІРІВ У СИСТЕМІ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО СУДНА

Анотація. *Доповідь присвячене підвищенню точності стабілізації барометричної висоти в системі автоматичного керування повітряного судна. Для подолання недоліків окремих сенсорів (похибки барометричного висотоміра, зумовлені змінами атмосферних умов, та випадкові неточності та затримки GPS-висотоміра) запропоновано метод інтеграції їхніх показань із застосуванням фільтра Калмана. Розроблено математичну модель системи в середовищі MATLAB/Simulink, яка включає моделі сенсорів, фільтр Калмана для оптимального оцінювання висоти та ПІД-регулятор. Робота доводить ефективність запропонованого підходу для використання в сучасних авіаційних системах, зокрема для БПЛА та легких літаків.*

Ключові слова: *автоматичне керування, барометрична висота, GPS-висотомір, фільтр Калмана, стабілізація, повітряне судно.*

Abstract: *This report is focused on improving the accuracy of barometric altitude stabilization in aircraft automatic control systems. To overcome the limitations of individual sensors (errors of the barometric altimeter due to changing atmospheric conditions, and random inaccuracies and delays of the GPS altimeter), a data integration method using a Kalman filter is proposed. A mathematical model of the system was developed in the MATLAB/Simulink environment, which includes sensor models, a Kalman filter for optimal altitude estimation, and a PID controller. The work proves the effectiveness of the proposed approach for use in modern aviation systems, particularly for UAVs and light aircraft.*

Keywords: *automatic control, barometric altitude, GPS altimeter, Kalman filter, stabilization, aircraft.*

Забезпечення стабільного та точного утримання барометричної висоти є однією з ключових задач систем автоматичного керування повітряними суднами. Точність вимірювання висоти безпосередньо впливає на безпеку польоту, ефективність витрат палива та якість виконання польотних завдань [1].

Традиційні системи керування висотою базуються переважно на даних барометричного висотоміра, однак останній має суттєву похибку, зумовлену змінами атмосферного тиску, температури та локальними збуреннями. З іншого боку, супутникові системи (GPS/GNSS) надають незалежні дані про висоту, але мають власні недоліки – затримки сигналу, неточності при маневрах і втрати сигналу в певних умовах [2].

Отже, актуальним є завдання інтеграції показань барометричних та супутникових висотомірів для підвищення точності й надійності автоматичного керування на режимах стабілізації висоти польоту.

Метою роботи є підвищення точності стабілізації барометричної висоти повітряного судна шляхом розробки алгоритму інтеграції даних від барометричного та супутникового висотомірів із використанням фільтра Калмана.

Для досягнення мети виконано такі завдання:

1. Проаналізувано похибки барометричних і GPS-вимірювань висоти.
2. Розроблено математичну модель об’єднання даних з двох сенсорів.
3. Застосувано фільтр Калмана для зменшення шумів і збурень у вимірювальних сигналах.
4. Проведено комп’ютерне моделювання процесу стабілізації висоти в умовах атмосферних збурень.
5. Оцінено ефективність інтегрованого підходу порівняно з традиційними методами.

Дослідження проводилось шляхом математичного моделювання системи автоматичного керування повітряного судна у середовищі MATLAB/Simulink [3].

Модель включала такі основні блоки:

– Барометричний висотомір, похибка якого моделювалася за залежністю від зміни атмосферного тиску та температури (±20 м).

– GPS-висотомір, похибка якого мала випадковий характер (±15 м) і була зумовлена неточністю супутникової навігації.

– Фільтр Калмана, який виконував оптимальну оцінку істинного значення висоти на основі двох джерел даних з урахуванням їх статистичних характеристик.

– ПІД-регулятор стабілізації висоти, що отримував на вхід згладжене значення висоти та формував керуючі впливи на виконавчі органи.

Для оцінки ефективності використовувались критерії: середньоквадратична похибка стабілізації, час виходу на задану висоту та чутливість до зовнішніх збурень.

Результати моделювання показали, що інтеграція показань барометричного та GPS-висотомірів із використанням фільтра Калмана дозволяє значно підвищити якість стабілізації висоти.

Таблиця 1 – Порівняльні результати досліджень

Тип системи	Середньоквадратична похибка, м	Час стабілізації, с	Вплив збурень
Барометричний висотомір	12,4	14,2	Високий
GPS-висотомір	10,9	15,0	Середній
Інтегрований (фільтр Калмана)	5,6	10,3	Низький

Запропонований метод інтеграції даних барометричного та супутникового висотомірів із застосуванням фільтра Калмана забезпечує підвищення точності та надійності системи стабілізації висоти повітряного судна.

Розроблений алгоритм знижує вплив шумів і збурень на вимірювальні сигнали, покращує стійкість системи та скорочує час стабілізації.

Результати моделювання підтверджують доцільність використання інтегрованих сенсорних систем у сучасних авіаційних автопілотах, особливо для малих безпілотних літальних апаратів і легких літаків.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на реалізацію алгоритму в реальному обладнанні з урахуванням затримок сигналів та нестаціонарності атмосфери.

Список використаних джерел:

1. Stevens, B. L., & Lewis, F. L. Aircraft Control and Simulation. – John Wiley & Sons, 2016.

2. Grewal, M. S., Weill, L. R., & Andrews, A. P. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. – John Wiley & Sons, 2007. https://doi.org/10.1002/0470099720.

3. Brown, R. G., & Hwang, P. Y. C. Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering with MATLAB Exercises. – John Wiley & Sons, 2012.

Лиходєєв Олександр Сергійович *– кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: lihas2201@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0009-0009-9509-2940.*

Збризький Владислав Вікторович *– здобувач освітнього рівня магістр кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: vladzbr7@gmail.com.*

Lykhodieiev Oleksandr Serhiiovych *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Aviation Engineering Faculty, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: lihas2201@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0009-0009-9509-2940.*

Zbryzkyy Vladyslav Viktorovych *– Master's Degree Student of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: vladzbr7@gmail.com.*

УДК 621.396.96

Кандирін М. П., Дзігора О. М.

ФАЗОВІ ШУМИ КОМБІНОВАНИХ ЦИФРО-АНАЛОГОВИХ СИНТЕЗАТОРІВ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ

***Анотація**: Розглядаються особливості побудови комбінованих цифро-аналогових формувачів, що виконані на основі цифрових синтезаторів сигналів і балансних квадратурних модуляторів. Обговорюються можливості використання таких пристроїв для синтезу радіолокаційних гетеродинних і зондувальних сигналів. Для дослідження шумових характеристик комбінованого синтезатора у роботі використовуються математичні моделі спектральної густини потужності фазових шумів його основних функціональних ланок. Наведено вирази для розрахунку і результати математичного моделювання шумових характеристик комбінованого синтезатора, а також проведено аналіз внесків окремих функціональних компонентів синтезатора у загальний рівень його фазових шумів.*

***Ключові слова**: комбінований синтезатор, цифровий синтезатор сигналів, квадратурний модулятор, спектральна густина потужності, фазовий шум.*

***Abstract**: The features of the construction of combined digital-analogue shapers based on digital signal synthesizers and balanced quadrature modulators are considered. The possibilities of using such devices for the synthesis of radar heterodyne and sounding signals are discussed. To study the noise characteristics of a combined synthesiser, mathematical models of the spectral power density of phase noise of its main functional units are used in this work. Expressions for calculating and results of mathematical modeling of noise characteristics of a combined synthesizer are presented, and the contributions of individual functional components of the synthesizer to its overall phase noise level are analyzed.*

***Keywords**: combined synthesizer, digital signal synthesizer, quadrature modulator, power spectral density, phase noise.*

Різноманіття розв'язуваних інформаційних задач, прагнення поєднувати корисні властивості різних видів зондувальних сигналів (ЗС), потреба комплексного вирішення питань підвищення інформативності, захисту від завад і прихованості роботи сучасних багатофункціональних й спеціалізованих радіолокаційних станцій висуває жорсткі вимоги до використовуваних в них пристроїв синтезу гетеродинних і зондувальних сигналів. Такі пристрої повинні забезпечувати можливість формування широкого ансамблю високостабільних простих і складних одиночних, складених (за часом) і квазішумових сигналів; швидкого переходу (від імпульсу до імпульсу або від періоду до періоду) від одного виду сигналу до іншого; гнучкої зміни амплітудно-частотно-часових параметрів формованих сигналів залежно від етапу бойової роботи й реальної цільової і завадової обстановки [1].

Одними з найбільш перспективних на сьогоднішній день для формування складних радіолокаційних сигналів діапазону надвисоких частот (НВЧ) із змінюваними параметрами є комбіновані цифро-аналогові синтезатори (КС), що побудовані на основі пристроїв прямого цифрового синтезу (Direct Digital Synthesizer – DDS) і балансних квадратурних модуляторів. При такій побудові DDS, що має два квадратурні виходи (I/Q), забезпечує малий крок сітки частот, невеликий час перебудови, високу точність і повторюваність параметрів синтезованих сигналів, швидкий перехід на іншу частоту або фазу без розриву фази та інших паразитних перехідних процесів [2–6]. Квадратурний модулятор при цьому використовується для ефективного перенесення формованих DDS-синтезатором сигналів в НВЧ діапазон [7–9].

Для дослідження шумових характеристик КС у роботі використовувалися математичні моделі спектральної густини потужності фазових шумів його основних функціональних ланок [10]. Важливе практичне значення такого моделювання полягає у можливості виявлення окремих функціональних ланок, що вносять найбільший вклад у сумарний рівень шуму синтезатора і підлягають заміні. Особливої актуальності такий підхід набуває при розробці нових комбінованих синтезаторів частот і сигналів, дозволяє проводити дослідження шумових властивостей пристроїв синтезу сигналів без використання їх дороговартісних фізичних моделей та комплексу складної вимірювальної апаратури.

Розглянуто основні джерела фазових шумів КС та їх вплив на характеристики РЛС.

Наведено вирази для розрахунку, результати математичного моделювання шумових характеристик КС та його окремих функціональних елементів, проведено порівняльний аналіз внесків окремих ланок у результуючий рівень фазових шумів синтезатора.

Обговорюються можливі шляхи зменшення рівня фазових шумів КС.

Список використаних джерел:

1. Гомозов В.И. Целесообразность унификации возбудителей простых и сложных сигналов при адаптации и оптимизации режима зондирования РЛС / В.И. Гомозов // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. – 2007. – № 2. – С. 10-15.
2. Kroupa V. F. Direct Digital Frequency Synthesizers. John Wiley & Sons, Inc. 1998. 396 p.
3. Белов Л.А. Устройства формирования СВЧ сигналов и их компоненты: учеб. пособ. / Л.А. Белов. – М: Издательский дом МЭИ. – 2010. – С. 242-266.
4. Кандырин Н. П., Дзигора А.М. Современное состояние техники цифрового синтеза сложных частотно-модулированных сигналов. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил.* 2005. № 6(6). С. 20-25.
5. Analog Devices, Inc. Data Sheet AD9914: 3.5 GSPS Direct Digital Synthesizer with 12-bit DAC DDS – [Електр. ресурс]. – Режим доступу: www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9914.pdf.
6. Analog Devices, Inc. Data Sheet AD9854: CMOS 300 MSPS Quadrature Complete DDS [Electronic resource]. – Режим доступу: www.analog.com/media/en/technical-documentation/data- sheets/AD9854.pdf.
7. Cushing R. Single Sideband Upconversion of Quadrature DDS Signals to the 800 to 2500 MHz Band / R. Cushing – Analog Dialogue. – 2000. – 34-3.
8. Дзігора О.М., Таршин В.А., Залевський Г.С. Цифроаналоговий метод формування сигналів із адаптивно змінюваними параметрами. *Системи обробки інформації*. 2020. № 2(161). С. 7-15. https://doi.org/10.30748/soi.2020.161.01.
9. AD8346: 0.8 GHz to 2.5 GHz Quadrature Modulator Data Sheet (Rev. A) [Electronic resource]. – Режим доступу: www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8346.pdf.
10. Кандирін М. П., Дзігора О. М. Внески фазових шумів ланками комбінованого синтезатора з цифровим синтезатором сигналів у якості опорного генератора системи фазового автопідстроювання частоти. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України.* 2023. № 2 (51). С. 78-84. https://doi.org/10.30748/nitps.2023.51.10.

Кандирін Микола Павлович *– кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: kandyrin.family@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-0831-4384*

Дзігора Олександр Михайлович *– доцент кафедри фізики та радіоелектроніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: rozenboss@gmail.com.ORCID https://orcid.org/0000-0002-6614-4694.*

Mykola Kandyrin *– PhD in Engineering, Senior Researcher, Senior Researcher of scientific research department of Air Force science center, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: kandyrin.family@gmail.com*

ORCID https://orcid.org/0000-0002-0831-4384

Oleksandr Dzihora *– Associate Professor of the Department of Physics and Radioelectronics, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: rozenboss@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-6614-4694*

УДК 629.735.083.5:623.746.9

Красноруцький А. О., Вишнівський Я. О., Васєкін Д. В.

ПЕРСПЕКТИВНА ПЛАТФОРМА УДАРНОГО БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ ПЕРШОГО КЛАСУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БОЙОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДРОЗДІЛІ

Анотація. *Сучасні бойові дії довели вирішальну роль безпілотних літальних апаратів у забезпеченні переваги на полі бою. Розвиток вітчизняних ударних БпЛА першого класу є стратегічним напрямом підвищення ефективності військових операцій, оскільки дозволяє виконувати розвідувально-ударні завдання з мінімальними ризиками для особового складу. В умовах активного застосування засобів радіоелектронної боротьби критично важливо створювати стійкі, автономні та технологічно прості системи, здатні до масового виробництва. Тому розробка національної платформи ударного БпЛА літакового типу сприятиме підвищенню бойового потенціалу підрозділів та зниженню залежності від імпортних технологій.*

Ключові слова: *ударний БпЛА, автономне управління, інерціальна навігація, GNSS, радіоелектронна боротьба, модульна архітектура, бойова частина..*

Annotation. *Modern warfare has demonstrated the decisive role of unmanned aerial vehicles (UAVs) in achieving battlefield superiority. The development of domestic first-class strike UAVs is a strategic direction for enhancing operational effectiveness, enabling reconnaissance and strike missions with minimal personnel risk. Under conditions of intense electronic warfare, it is crucial to design robust, autonomous, and technologically simple systems capable of mass production. Therefore, the creation of a national fixed-wing strike UAV platform will increase combat capability and reduce dependence on foreign technologies.*

Key words: *strike UAV, autonomous control, inertial navigation, GNSS, electronic warfare, modular architecture, warhead.*

Повномасштабне вторгнення російської федерації в Україну виступило потужним каталізатором прискореного розвитку та масового застосування безпілотних літальних апаратів (БпЛА) у військових операціях. Ці системи продемонстрували високу ефективність у розвідці, коригуванні вогню та виконанні точкових ударних завдань, що зумовлює їхнє ключове значення в сучасній тактико-оперативній доктрині. Разом із тим досвід бойових дій виявив існування прогалин у наявному парку засобів: багато систем є вузькоспеціалізованими або імпортованими, що створює залежність від зовнішніх постачань та обмежує можливості адаптації до умов інтенсивного застосування РЕБ і польових режимів експлуатації. З огляду на це, актуальною є розробка вітчизняної універсальної ударної платформи першого класу з відкритою модульною архітектурою, простою у виробництві та експлуатації, стійкою до впливів радіоелектронної боротьби.

Аналіз вимог показує, що для тактичних потреб необхідна платформа першого класу з масою злітною до 25 кг і корисним навантаженням 4–6 кг, що поєднує достатню дальність і тривалість польоту (до 1,5–2 годин) з можливістю роботи в умовах обмеженого простору для зльоту та обмежених ресурсів технічного забезпечення на польових майданчиках. Визначені вимоги передбачають максимальну швидкість 120–200 км/год, крейсерську 90–140 км/год та практичний радіус дії до 100 км при лінійному зв’язку, з опцією подовження дистанції через ретрансляцію. Система повинна забезпечувати модульність конструкції, простоту виробництва та обслуговування, а також стійкість до впливу засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) та втрати GNSS.

Конструкція платформи ґрунтується на фюзеляжі з центральним відсіком для авіоніки, батареї і бойової частини та знімних крилах для швидкої заміни і транспортування. Віддається перевага комбінованим матеріалам: карбонові трубки та армовані композити в місцях пікового навантаження, полімерні деталі, виготовлені за допомогою 3D-друку, у менш критичних зонах. Такий підхід дозволяє поєднати міцність і легкість із ремонтопридатністю у польових умовах. Аеродинамічної платформа має крило з помірною подовженістю і оптимізованим профілем, що забезпечує баланс між дальністю польоту та маневреністю.

Рішення щодо силової установки передбачають гнучкість: базова конфігурація електричний привід із літій- полімерними або літій-залізо-фосфатними акумуляторами з модульною компоновкою акумуляторів для швидкої встановлення на полі бою. Система живлення проектується з урахуванням моніторингу стану елементів і захисту від аварійних режимів, з передачею діагностичних даних у телеметричному каналі.

Авіоніка і навігаційна підсистема реалізовані за модульним принципом: польотний контролер з відкритим стеком, сумісний з ArduPilot, окремий процесор для обробки відеопотоку та задач штучного інтелекту, GNSS-модуль високої чутливості, інерційна навігаційна система (IMU), барометр і магнітометр. Для роботи в умовах втрати супутникового сигналу застосовуються алгоритми сенсорної фузії (комплементарний фільтр, розширений або адаптивний фільтр Калмана) та опціонально візуальна одометрія (VIO) для коротких відрізків маршруту. Система телеметрії спроектована з резервними каналами: основний цифровий канал для відео та телеметрії з можливістю шифрування та запасний канал для керування, що зменшує вразливість до перешкод.

Захист від радіоелектронної боротьби реалізується через поєднання апаратних і програмних заходів: виявлення джерел глушіння, адаптивне перемикання навігації на інерційну підсистему або VIO, динамічне перемикання частот у каналах зв'язку (frequency hopping), а також використання ретрансляторів мережі для подовження та стабілізації каналу управління. При виявленні інтенсивного РЕБ система здатна змінити профіль місії, знизити електропотужність передавачів і ініціювати повернення на безпечну ділянку.

Корисне навантаження має модульний характер і забезпечує розміщення бойової частини масою до 5 кг або комплекс сенсорів (камера, тепловізійний модуль, лазерний далекомір). Бойова частина проєктується з урахуванням варіантів ураження: кумулятивна або осколково- фугасна конструкція, з ударним запалюванням та багаторівневою логікою ухвалення рішення. Система прийняття рішення передбачає попередню обробку відеопотоку на борту для детекції потенційних цілей, перевірку координат і умов пуску та реалізацію стратегії для сценаріїв, де це необхідно; одночасно передбачені режими повної автономії з наборами правил обмеження ураження.

Програмна архітектура базується на відокремлених мікросервісах: базовий польотний контролер відповідає за стабілізацію й навігацію, окремий блок реалізує обробку зображень і класифікацію цілей, модуль планування маршрутів враховує енергетичні обмеження і ризики РЕБ, з можливістю оновлення прошивок.

Технологія виготовлення передбачає стандартизацію вузлів і застосування уніфікованих електронних блоків і батарейних модулів для спрощення логістики. Модульна конструкція дозволяє організувати серійне складання при обмежених потужностях і локалізувати виробництво окремих компонентів. Експлуатаційні процедури включають автоматизовану передпольотну діагностику з виводом зведеного звіту на переносний термінал оператора і прості регламенти обслуговування, що зменшують час підготовки до польоту.

Програма верифікації і випробувань складається із стендових випробувань силової установки та авіоніки, польових тестів моделей у різних режимах польоту та імітаційних тестів в умовах штучного РЕБ для перевірки стійкості навігації і зв'язку. Особлива увага приділяється інтеграційним випробуванням бойової частини, тестуванню алгоритмів детекції й класифікації цілей і перевірці процедур безпеки. Ключовими критеріями прийняття є досягнення заявлених льотно-технічних характеристик, надійність каналу зв'язку, відмовостійкість навігації при втраті GNSS.

Запропонована універсальна ударна платформа першого класу (≤25 кг, корисне навантаження 4–6 кг) є технічно обґрунтованою та відповідає тактичним потребам розвідки й точкових ударів. Модульна архітектура зі знімними крилами, уніфікованими блоками авіоніки та батарейними модулями забезпечує простоту виробництва, логістики й ремонтопридатність у польових умовах. Комбіноване використання карбону в критичних вузлах і 3D-друкованих полімерів дозволяє оптимізувати співвідношення міцності й ваги; енергетичний вибір між електричною і гібридною схемою потребує компромісу між непомітністю та тривалістю польоту. Впровадження відкритого апаратно-програмного стеку, багаторівневого захисту від РЕБ підвищує стійкість системи, але вимагає строгих процедур тестування, сертифікації логіки застосування зброї та комплексної програми верифікації в умовах реальних перешкод..

Список використаних джерел:

1. В.П. Харченко, Ю.М. Барабанов, М.А. Міхалочкін: Системи зв'язку та навігації. Навчальний посібник. Київ 2009.
2. О.Є. Бабак, А.М. Козачок: Безпілотні авіаційні комплекси: конструкція, управління, застосування. Київ: НАУ, 2021.
3. С.І. Соколовський, В.Ю. Рибак: Модульна архітектура та автономні системи управління безпілотних літальних апаратів. Харків: ХАІ, 2020.
4. І.О. Кондратенко, А.В. Сирота: Засоби радіоелектронної боротьби у сучасних збройних конфліктах. Київ: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2022.
5. Казіміров І.О. Проблемні питання застосування засобів радіоелектронної боротьби проти БПЛА. Журнал «Наукові записки ХНУПС», 2025.
6. Офіційний сайт Міністерства оборони України. Безпілотні системи у Збройних Силах України. URL: https://www.mil.gov.ua/uav (дата звернення: 30.10.2025).
7. Державна авіаційна служба України. Рекомендації щодо розробки та експлуатації БпЛА цивільного і військового призначення. Київ, 2023.

Краснорuцький Андрій Олександрович *– кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету, e-mail: krasnorycki@ukr.net, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, м. Харків, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4318-2217, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, вулиця Динамівська 3а, м. Харків, 61023.*

Вишнівський Ян Олексійович *– професор кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету, e-mail: janvishnevski@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, м. Харків, ORCID: https://orcid.org/0000-0009-4166-2334, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, вулиця Динамівська 3а, м. Харків, 61023.*

Васєкін Дмитро Вікторович *– курсант 4 курсу інженерно-авіаційного факультету, e-mail: vasekindmitro@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, м. Харків, ORCID: https://orcid.org/0009-0003-6140-9600, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, вулиця Динамівська 3а, м. Харків, 61023.*

Andrii Oleksandrovych Krasnorutskyi *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Faculty of Engineering and Aviation; e-mail: krasnorycki@ukr.net; Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozhedub, 3a Dynamivska St., Kharkiv, 61023, Ukraine; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4318-2217.*

Yan Oleksiiovych Vyshnivskyi *– Professor, Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Faculty of Engineering and Aviation; e-mail: janvishnevski@gmail.com; Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozhedub, 3a Dynamivska St., Kharkiv, 61023, Ukraine; ORCID: https://orcid.org/0000-0009-4166-2334.*

Dmytro Viktorovych Vasekin *– 4th-year Cadet, Faculty of Engineering and Aviation; e-mail: vasekindmitro@gmail.com; Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozhedub, 3a Dynamivska St., Kharkiv, 61023, Ukraine; ORCID: https://orcid.org/0009-0003-6140-9600.*

УДК 623.451.045.5:629.7.083.8

Хижняк А. С., Вергасов А. О., Маховський А. О., Березицький Д. О., Закладний В. О.

АНАЛІЗ РОЗВИТКУ АВІАЦІЙНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ КЛАСУ "ПОВІТРЯ-ПОВІТРЯ" МАЛОЇ ДАЛЬНОСТІ ДІЇ

Анотація. *В роботі проведений загальний аналіз розвитку авіаційних керованих ракет класу "повітря-повітря" малої дальності дії. Визначено основні етапи еволюції цього виду зброї – від перших теплових ракет до сучасних високотехнологічних систем. Проаналізовано ключові тенденції розвитку – на протязі усього часу існування такого роду зброї де спостерігалося покращання характеристик та впровадження новітніх технологій. Результати дослідження дозволяють сформувати узагальнене уявлення про тенденції розвитку ракет малої дальності дії та окреслити напрями їх подальшого розвитку.*

Ключові слова: *боєприпаси, авіаційна керована ракета, клас "повітря-повітря", мала дальність, засіб ураження.*

Annotation. *In this paper, a general analysis of the development of short-range air-to-air guided missiles is presented. The main stages in the evolution of this type of weapon are identified – from the first heat-seeking missiles to modern high-tech systems. The key development trends are analyzed – throughout the existence of this class of weapons, improvements in performance characteristics and the introduction of advanced technologies have been observed. The results of the study make it possible to form a generalized understanding of the development trends of short-range missiles and to outline directions for their further advancement.*

Keywords: *ammunition, aircraft guided missile, air-to-air class, short range, means of destruction.*

Авіаційні керовані ракети класу "повітря-повітря" малої дальності дії стали невід'ємною частиною систем озброєння сучасних бойових літаків. Їхнє основне призначення – ураження повітряних цілей у межах візуальної видимості. З моменту появи перших зразків у 1950-х роках і до сьогодення цей клас пройшов складний шлях розвитку, який охоплює вдосконалення аеродинамічних схем, систем наведення, двигунів та бойових частин з метою покращення їх характеристик [1].

Метою даної роботи є аналіз основних етапів розвитку характеристик авіаційних керованих ракет класу "повітря-повітря" малої дальності дії, виявлення ключових тенденцій і факторів, що вплинули на підвищення їх ефективності в бойових умовах.

На основі аналізу розвитку характеристик авіаційних керованих ракет класу "повітря-повітря" малої дальності дії, виявленні їх основні тенденції, що вплинули на підвищення ефективності бойового застосування ракет та означені основні чотири етапи їх розвитку. Ці етапи можливо описати таким чином:

1. Початковий етап розвитку (1950–1960-ті роки).

Перші ракети класу "повітря-повітря" малої дальності дії розроблялися у період становлення реактивної авіації, коли виникла потреба у зброї ближнього бою, здатній ефективно уражати швидкі та маневрові цілі. Класичним представником є ракета AIM-9B Sidewinder, розроблена у США на базі досліджень що проводилися у 1949–1953 рр. [2]. Вона мала інфрачервону головку самонаведення (ГСН), що реагувала на теплове випромінювання двигуна повітряного судна противника, та забезпечувала пуск лише з задньої півсфери.

Подібні розробки велися і в інших країнах: радянські К-13 (Р-3С), британські Firestreak, французькі R.511. Вони мали схожу архітектуру – інфрачервона ГСН, пасивна система наведення, обмежена дальність (4–5 км) і перевантаження в автономному польоті до 10–12 g [3].

На цьому етапі головним завданням було забезпечити надійність пуску та точність наведення хоча б у межах вузького сектора, а також мінімізацію габаритів для можливого розміщення на винищувачах першого покоління.

2. Етап підвищення ефективності та маневреності (1970–1980-ті роки).

Подальший розвиток ракет передбачав: збільшенні кута пуску, маневреності, завадостійкості. У цей період з'явилися модифікації типу AIM-9L/M, що отримали всеракурсну головку самонаведення (all-aspect), яка дозволяла атакувати ціль з будь-якого напрямку – навіть у передню півсферу [4].

Суттєві зміни торкнулися і систем керування. Вперше було реалізовано аеродинамічні поверхні з приводами, які дозволяли здійснювати активне маневрування ракети на траєкторії. Важливим кроком стало впровадження системи охолодження ІЧ-приймача, що підвищило його чутливість тим самим збільшило дальність захоплення.

Також у цей час створюється ракета Р-60 (К-60) – компактна, надзвичайно маневрена, здатна маневрувати з перевантаженнями біля 20 g, а згодом – її модернізований (покращений) варіант Р- 60М [5].

Паралельно розроблялись системи для інтеграції ракети з нашоломними прицільними комплексами (НПК) – пілот міг наводити ракету поворотом голови льотчика на ціль, що значно скоротило час реакції. Цей етап започаткував концепцію "high off-boresight launch" – пуск із великим відхиленням від осі літака.

У цей час створено Р-73 – першу серійну ракету з великим сектором пуску (до ±60°) та високою маневреністю, що визначило новий стандарт для цього класу [7].

3. Етап цифровізації та підвищення точності (1990–2000-ті роки).

Третій етап розвитку характеризується впровадженням цифрових систем керування, мультиспектральних сенсорів та високотемпературних матеріалів. У цей період відбувається перехід від аналогових блоків наведення до програмно-керованих процесорів.

Прикладом є ракета ASRAAM, створена компанією MBDA UK Ltd, що стала однією з найманевреніших у світі. Вона має сенсор з роздільністю понад 128×128 пікселів, дальність ефективного пуску до 25 км і перевантаження понад 40 g [6]. Завдяки системі LOAL (lock-on after launch) ракета здатна захоплювати ціль уже після старту, що забезпечує гнучкість при стрільбі з будь-якого положення носія.

У США аналогічну концепцію реалізовано у AIM-9X, яка отримала векторну тягу двигуна для надманевреності та двонаправлений канал передачі даних (*datalink*) між ракетою і носієм. Це дозволило здійснювати корекцію траєкторії у польоті, підвищуючи ймовірність ураження цілі.

4. Сучасний етап розвитку (2010–2020-ті роки).

Сучасні ракети малої дальності поєднують високоточні інфрачервоні сенсори з можливістю обробки зображення у реальному часі, адаптивні системи наведення та модульні бойові частини. Розробники орієнтуються на універсальність: застосування не лише з літаків, але й з наземних або корабельних платформ.

Європейська програма PESCO FSRM (Future Short Range Air-to-Air Missile), що реалізується консорціумом MBDA, передбачає створення ракети нового покоління, здатної ефективно діяти проти малопомітних літаків і безпілотників [8].

Сучасні тенденції також включають інтеграцію з мережево-центричними системами управління боєм, обмін даними між пілотами і ракетами у режимі реального часу, а також використання алгоритмів штучного інтелекту для підвищення автономності наведення.

Важливою тенденцією є і модифікація ракет під потреби протидії БПЛА. Так, у 2025 р. британські та українські інженери адаптували ASRAAM для наземного застосування у системі Raven, яка забезпечує ефективне ураження безпілотників та крилатих ракет на малих висотах [9].

У найближчі роки очікується подальше покращення характеристик таких як дальність захоплення та ураження, швидкість на автономіній ділянці польоту ракети, а також вдосконалення сенсорних систем – інтеграція інфрачервоного, ультрафіолетового та радіолокаційного каналів у єдину ГСН для підвищення надійності в умовах складної електронної боротьби.

Зважаючи на вище зазначене, можливо стверджувати що:

1. Розвиток ракет такого класу відбувався у умовні чотири ключові етапи: становлення (1950– 1960-ті), удосконалення маневреності (1970–1980-ті), цифровізація (1990–2000-ті) та інтелектуалізація (2010–2020-ті).
2. Значущими характеристиками які покращувалися на протязі усього часу існування такого роду зброї стали дальність і кути захоплення та ураження цілі, швидкість польоту та нормальне перевантаження під час пуску і при автономному польоті ракети до цілі.
3. Основними напрямами підвищення ефективності стали: збільшення кутів пуску, удосконалення систем наведення, підвищення маневреності за рахунок "векторування" тяги, а також впровадження програмно-керованих систем управління.
4. Сучасні авіаційні керовані ракети класу "повітря-повітря" малої дальності дії набувають універсальності – застосовуються як повітряні, так і наземні системи перехоплення, втому числі у протидії безпілотним засобам.
5. Подальший розвиток пов’язаний із переходом до багатоспектральних головок самонаведення, адаптивних систем штучного інтелекту та повною інтеграцією у мережево-центричні середовища повітряного бою.

Список використаних джерел:

1. Результати аналізу ретроспективи розвитку авіаційних керованих ракет класу «повітря– повітря» малої дальності дії // Системи обробки інформації : збірник наукових праць. – Харків :ХНУПС, 2015. – Вип. 11(136). – С. 39–44.

2. The Sidewinder Story – The Evolution of the AIM-9 Missile. Australian Air Power Analysis Centre [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.ausairpower.net/TE-

Sidewinder-94.html (дата звернення: 30.10.2025).
3. AIM-9 Sidewinder Fact Sheet. U.S. Air Force Armament Directorate [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104561/aim-9-sidewinder (дата звернення: 30.10.2025).
4. Advanced Short Range Air-to-Air Missile (ASRAAM). Think Defence, 2022 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.thinkdefence.co.uk/2022/11/advanced-short-range-air-to-air- missile-asraam (дата звернення: 30.10.2025).
5. ASRAAM – Product Information. MBDA UK Ltd [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://www.mbda-systems.com/products/air-dominance/asraam (дата звернення: 30.10.2025).
6. Short-Range Missile Evolution and Future Trends. Air Force Technology, 2024 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.airforce-technology.com/features/short-range-air-to-air-missile- evolution (дата звернення: 30.10.2025).
7. P-73 (AA-11 Archer) Technical Overview. Russian Aviation Review [Електронний ресурс]. –
Режим доступу: https://russianplanes.net/r-73-archer (дата звернення: 30.10.2025).
8. Future Short Range Air-to-Air Missile (FSRM). PESCO – Permanent Structured Cooperation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.pesco.europa.eu/project/future-short-range-air-to- air-missile-fsrm (дата звернення: 30.10.2025).
9. Raven: Ukraine's ASRAAM Air Defence System. Armourers Bench, 2025 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://armourersbench.com/2025/05/11/raven-ukraines-asraam-launching-air-defence- system (дата звернення: 30.10.2025).

Хижняк Андрій Сергійович *– доцент кафедри комплексів авіаційного озброєння інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61023, e-mail: a09727947@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001-9122-7793.*

Вергасов Андрій Олегович, *– слухач інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61023, email: vergasovandrey2003@gmail.com.*

Маховський Андрій Олександрович, *– слухач інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61023, email: fokatefolvb@gmail.com.*

Березицький Данило Олегович, *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61023, email: limonadikban@gmail.com.*

Закладний Владислав Олексійович *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61023, email: zakladnojvlalislav@gmail.com.*

Khyzhniak Andrii, *Associate Professor of the Department of Aviation Weapons Complexes, Faculty of Aviation Engineering, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska St., ID: 61023, e-mail: a09727947@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000- 0001-9122-7793.*

Verhasov Andrii, *– student of the Department of Aviation Engineering Faculty of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska St., ind. 61023 email: vergasovandrey2003@gmail.com.*

Makhovskyi Andrii, *– student of the Department of Aviation Engineering Faculty of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska St., ind. 61023 email: fokatefolvb@gmail.com.*

Berezytskyi Danylo, *– cadet of the Department of Aviation Engineering Faculty of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska St., ind. 61023 email: limonadikban@gmail.com.*

Zakladnyi Vladyslav *– cadet of the Department of Aviation Engineering Faculty of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska St., ind. 61023 email: zakladnojvlalislav@gmail.com.*

УДК 623.4:629.3.02:621.51

Долінський М. П., Скрипач С. І.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ШАСІ З МУЛЬТИЛІФТОВОЮ УСТАНОВКОЮ ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ МОДУЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ЗАСОБІВ АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Анотація. *У роботі розглянуто можливості використання автомобільного шасі з мультиліфтовою установкою для розміщення модульного комплексу засобів аеродромно- технічного забезпечення. Проаналізовано досвід застосування подібних систем у Збройних силах країн НАТО та визначено перспективи їх адаптації до умов Збройних Сил України. Запропоновано концепцію модульної побудови комплексу, яка забезпечує швидке розгортання, уніфікацію транспортної бази та підвищення мобільності аеродромно- технічних підрозділів. Показано, що використання автомобільного шасі з мультиліфтовою установкою дозволяє скоротити час розгортання засобів аеродромно-технічного забезпечення, зменшити експлуатаційні витрати та підвищити ефективність логістичного забезпечення авіаційних частин.*

Ключові слова: *мультиліфтова система, авіаційні частини, автомобільне шасі, аеродромне забезпечення.*

Abstract. *The paper considers the possibilities of using a car chassis with a multi-lift installation to accommodate a modular complex of airfield technical support facilities. The experience of using similar systems in the Armed Forces of NATO countries was analyzed and the prospects for their adaptation to the conditions of the Armed Forces of Ukraine were determined. A concept of modular construction of the complex is proposed, which ensures rapid deployment, unification of the transport base, and increased mobility of airfield technical units. It is shown that the use of a car chassis with a multi-lift installation allows you to reduce the deployment time of airfield technical support, reduce operating costs and increase the efficiency of logistical support of aviation units.*

Keywords: *multi-lift system, aviation parts, automobile chassis, airfield support.*

Сучасні вимоги до систем логістичного забезпечення Збройних Сил України зумовлюють необхідність підвищення рівня мобільності, уніфікації та автономності спеціальної техніки, зокрема засобів аеродромно-технічного забезпечення авіаційних частин. Традиційні засоби аеродромно-технічного забезпечення обмежені у використанні через складність транспортування, значні габарити та тривалий час розгортання [1]. У сучасних умовах бойових дій, коли авіаційні частини можуть змінювати місця базування, актуальним стає створення мобільних модульних комплексів, здатних швидко переміщатися, розгортатися та забезпечувати необхідні параметри роботи.

Перспективним напрямом вирішення цього завдання є використання автомобільного шасі з мультиліфтовою установкою, які забезпечують можливість швидкої заміни функціональних модулів без застосування додаткових вантажопідіймальних механізмів. Мультиліфтова система (hook-lift) являє собою гідравлічний механізм, що дозволяє піднімати, встановлювати та фіксувати змінні модулі типу контейнерів ISO або спеціальних платформ [2]. Така конструкція забезпечує високу універсальність транспортної бази й скорочує час виконання логістичних операцій.

Досвід використання мультиліфтових систем у Збройних силах країн НАТО (США, Великобританія, Німеччина, Польща) показує, що подібні платформи ефективно застосовуються для перевезення ремонтних майстерень, паливозаправних систем, технічних модулів і систем життєзабезпечення [3, 4]. Впровадження аналогічних рішень у Збройних Силах України дозволить підвищити рівень автономності технічних підрозділів та скоротити кількість одиниць спеціальної техніки за рахунок уніфікації шасі.

Запропонована концепція модульного комплексу засобів аеродромно-технічного забезпечення на базі автомобільного шасі з мультиліфтовою установкою передбачає створення кількох типів функціональних модулів:

- повітряного модуля — для нагнітання повітря або інертних газів до тиску 20–40 МПа;

- кисневого та азотного модулів — для зберігання і зарядки балонів;
- енергетичного модуля — із дизель-генераторною установкою [5].

Мультиліфтова система забезпечує швидке переобладнання транспортного засобу для виконання різних завдань. Наприклад, після завершення заправки авіаційної техніки один модуль може бути демонтований, а замість нього встановлено інший — ремонтний чи технічний. Це значно підвищує гнучкість логістики та живучість технічних підрозділів у зоні бойових дій [1, 2].

Розрахунки показують, що використання мультиліфтового шасі дає змогу зменшити час розгортання. Також знижується навантаження на персонал, адже всі операції виконуються автоматизовано. Крім того, уніфіковані контейнери можуть транспортуватися звичайними автомобілями або залізничним транспортом, що спрощує евакуацію та ремонт у тилу [4].

Застосування автомобільного шасі з мультиліфтовою установкою для розміщення модульного комплексу засобів аеродромно-техічного забезпечення має значний потенціал для підвищення оперативності забезпечення авіаційних частин, зниження експлуатаційних витрат та покращення керованості логістичних процесів. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку оптимальної компоновки модулів, аналіз динамічних навантажень під час руху та адаптацію системи до стандартів НАТО (STANAG 2413, ISO 668) [3].

Список використаних джерел:

1. *Коваленко О. І.* Мобільні системи забезпечення військових підрозділів: конструктивні рішення та перспективи розвитку / *О. І. Коваленко*, *С. В. Ткаченко* // Київ: ЦНДІ ЗС України. – 2021.
2. *Паламарчук В. Г.* Транспортні платформи мультиліфтового типу: конструкція та експлуатаційні властивості / *В. Г. Паламарчук, О. М. Кравець* // Харків: ХНАДУ. – 2020.
3. NATO Standardization Agreement (STANAG) 2413 / *Military Pallet, Package and Container Interface*: Brussels. – 2019.
4. *Ministry of Defence UK* Multilift Hooklift System User Manual // London: MoD. – 2018.
5. *Білоконь І. П.* Підвищення ефективності газозарядних засобів авіаційних частин у польових умовах / *І. П. Білоконь* // Вісник НТУУ «КПІ». – 2022. – №3. – С. 45–51.

Долінський Михайло Петрович *– викладач кафедри аеродромно-технічного забезпечення авіації інженерно-авіаційного факультету, e-mail: makenzzyzz@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, ORSID: https://orcid.org/0009-0002-5260-7245, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, вулиця Динамівська 3а, м. Харків, 61023.*

Скрипач Станіслав Ігорович *– слухач штатний 26С навчальний курс інженерно-авіаційного факультету, e-mail: staswin@icloud.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, ORSID: https://orcid.org/0009-0004-0826-012X, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, вулиця Динамівська 3а, м. Харків, 61023.*

Dolinsky Mykhailo Petrovych *– Lecturer at the Department of Aerodrome and Technical Support of Aviation, Faculty of Aviation Engineering, e-mail: makenzzyzz@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, ORSID: https://orcid.org/0009-0002-5260-7245, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, 3a Dynamivska Street, Kharkiv, 61023.*

Skrypach Stanislav Igorovich *– full-time student of the 26C training course of the Faculty of Aviation Engineering, e-mail: staswin@icloud.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, ORSID: https://orcid.org/0009-0004-0826-012X, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, 3a Dynamivska Street, Kharkiv, 61023.*

УДК: 624.042:355.45

Любич В. В.

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ У ФОРТИФІКАЦІЙНОМУ БУДІВНИЦТВІ В УМОВАХ ГІБРИДНИХ ВОЄН

Анотація. *У роботі розглядаються основні напрями розвитку фортифікаційного будівництва в умовах гібридних воєн XXI століття. Проаналізовано зміни у характері бойових дій, що впливають на архітектуру й функціональність інженерних споруд, визначено сучасні підходи до проектування, матеріально-технічного забезпечення та автоматизації процесів будівництва захисних об'єктів. Окрема увага приділяється досвіду України та країн НАТО щодо організації оборонних рубежів у реальних бойових умовах.*

Ключові слова: *фортифікація, гібридна війна, інженерне забезпечення, укриття, BIM-технології, інноваційні матеріали, мобільні споруди.*

Abstract. *The paper examines the main directions of development in fortification construction under the conditions of hybrid wars in the 21st century. The study analyzes changes in the nature of military operations that influence the architecture and functionality of engineering structures, identifies modern approaches to design, material and technical support, and automation of protective facility construction. Particular attention is given to the experience of Ukraine and NATO countries in organizing defensive lines under real combat conditions.*

Keywords: *fortification, hybrid war, engineering support, shelter, BIM technologies, innovative materials, mobile structures.*

У XXI столітті фортифікаційне будівництво набуло нового стратегічного змісту, зумовленого трансформацією характеру воєнних конфліктів. Гібридні війни, що поєднують традиційні, інформаційні, кібернетичні та асиметричні засоби боротьби, вимагають від інженерних військ і будівельної галузі принципово нових підходів до створення систем оборони. На зміну статичним, довготривалим укріпленням приходять мобільні, адаптивні, технологічно насичені комплекси, здатні швидко розгортатися, маскуватися та інтегруватися у загальну систему управління боєм.

Сучасні фортифікаційні споруди перестали бути лише фізичним бар'єром між противником і оборонцями. Вони дедалі більше перетворюються на елементи єдиної інформаційно-логістичної інфраструктури, де поєднано функції захисту, спостереження, зв'язку, управління та забезпечення. Поширення безпілотних літальних апаратів, високоточного озброєння, засобів радіоелектронної боротьби та дистанційного ураження потребує підвищеної стійкості й низької помітності споруд, а також можливості їх швидкої реконфігурації відповідно до змін бойової обстановки.

Провідним трендом стає використання мобільних фортифікаційних комплектів, які дозволяють у найкоротші терміни створювати ефективні польові укріплення. Модульні бліндажі, збірно-щитові укриття, контейнери подвійного призначення та інженерні системи на основі геосинтетичних матеріалів (зокрема типу HESCO) забезпечують необхідний рівень протибалістичного й протиосколкового захисту при мінімальних витратах часу і ресурсів. Такі рішення особливо актуальні в умовах постійного вогневого впливу та високої маневреності бойових дій.

Інтенсивний розвиток матеріалознавства сприяв появі інноваційних конструкційних матеріалів для фортифікацій: композитів, армованих ґрунтів, полімерних в'яжучих, георешіток і швидкотверднучих бетонів. Вони дозволяють зменшити масу споруд, підвищити їхню міцність, зносостійкість і довговічність, а також спростити транспортування й монтаж у польових умовах. Це забезпечує гнучкість та ефективність інженерних рішень навіть за обмежених логістичних можливостей.

Перспективним напрямом є автоматизація будівництва, зокрема через застосування 3D-друку та дронів-будівельників. Технології адитивного зведення бетонних споруд дають змогу створювати укриття та допоміжні інженерні об’єкти без залучення значної кількості персоналу, що істотно знижує ризики для будівельників і скорочує терміни спорудження. Такі експериментальні технології вже проходять апробацію у країнах НАТО та демонструють потенціал для масового впровадження у військовій інженерії. Важливе місце у розвитку фортифікаційного будівництва займає цифровізація проектних процесів. Використання BIM-технологій (Building Information Modeling) відкриває можливість створення інтегрованої інформаційної моделі об’єкта, що охоплює всі етапи його життєвого циклу — від проєктування до експлуатації. Це дозволяє проводити розрахунки стійкості конструкцій до вибухових навантажень, моделювати сценарії обстрілів, оптимізувати розташування укриттів і управляти ресурсами у режимі реального часу. В умовах гібридних війн BIM стає інструментом стратегічного планування, що поєднує інженерну точність із оперативною гнучкістю.

Повномасштабна війна в Україні стала потужним каталізатором розвитку нової філософії фортифікаційного забезпечення. Масове спорудження оборонних рубежів, укриттів для особового складу й техніки сприяло появі ефективних типових рішень, стандартизації елементів та автоматизації процесів виготовлення збірних конструкцій. Водночас активна участь цивільних підрядників у фортифікаційному будівництві засвідчила нову модель взаємодії військових і цивільних інженерних структур, що є надзвичайно важливою в умовах тривалих конфліктів.

Сьогодні спостерігається тенденція до інтеграції військових і цивільних аспектів фортифікації. Інженерні рішення, відпрацьовані на фронті, знаходять застосування у системах цивільного захисту — при проєктуванні сховищ для населення, захищених пунктів управління, комунікаційних центрів, енергетичних об’єктів. Такий підхід забезпечує підвищення рівня стійкості національної інфраструктури до воєнних і техногенних загроз.

Отже, сучасні тенденції у фортифікаційному будівництві визначаються поєднанням мобільності, модульності, цифровізації та високого ступеня автоматизації. Головною метою стає не лише створення стійких оборонних споруд, а формування комплексної системи захисту, здатної швидко адаптуватися до мінливих умов бойових дій. Фортифікація поступово перетворюється з галузі інженерного забезпечення на високотехнологічний елемент військової стратегії, що поєднує класичні принципи оборони з інноваційними технологіями майбутнього.

Список використаних джерел:

1. Нормативний документ НД 2.04-3.2007. *Споруди цивільного захисту. Основні положення проєктування.* – К.: Мінрегіонбуд України, 2007.

2. Звіт Міністерства оборони України (2024). *Інженерне забезпечення оборони держави: сучасний стан та перспективи розвитку.* – Київ, 2024.

3. Field Manual FM 5-15. *Field Fortifications.* – Department of the Army, Washington, D.C., USA, 2022.

4. NATO STANAG 2280. *Engineering Support to Operations.* – NATO Standardization Office, Brussels, 2021.

5. Лобанов І. М., Ковальчук В. В. *Фортифікаційне забезпечення військових дій: навчальний посібник.* – Харків: ХНУПС, 2020.

6. Tiwari, A., Kumar, P. (2023). *Use of 3D Printing in Military Infrastructure Construction. – Journal of Military Engineering and Technology*, Vol. 8(2), pp. 45–52.

7. BIM for Infrastructure Projects: Defense Applications. – NATO CCDCOE Report, Tallinn, 2023.

8. Кириченко О. В., Громовий С. П. *Сучасні матеріали для фортифікаційних споруд: технологічні та експлуатаційні аспекти. – Вісник будівництва і архітектури*, №2 (2024), с. 35–42.

9. Шаповал В. О. *Інженерні укріплення в зоні бойових дій: практика застосування та удосконалення. – Збірник наукових праць ЦНДІ ЗСУ*, 2023.

10. HESCO Bastion Technical Manual. – Hesco Group, Leeds, UK, 2022.

Любич Володимир Володимирович *– викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

Lyubich Volodymyr V. *– lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

УДК: 624.042:620.9

Любич В. В.

ІННОВАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СПОРУД УКРИТТЯ ТА ІНЖЕНЕРНОГО ЗАХИСТУ ВІЙСЬК

Анотація. *У тезі розглядаються сучасні напрями застосування інноваційних матеріалів у фортифікаційному будівництві та інженерному захисті військ. Проаналізовано властивості композитних, полімерних і геосинтетичних матеріалів, які забезпечують підвищену стійкість споруд до вибухових і механічних навантажень. Подано огляд практичного досвіду їх використання у Збройних Силах України та арміях країн НАТО. Зазначено перспективи розвитку технологій швидкомонтажних і мобільних укриттів нового покоління.*

Ключові слова: *інноваційні матеріали, фортифікаційне будівництво, укриття, геосинтетики, композити, армовані ґрунти, 3D-друк, інженерний захист військ.*

Abstract. *The paper examines modern trends in the use of innovative materials in fortification construction and the engineering protection of troops. The properties of composite, polymer, and geosynthetic materials that enhance the resistance of structures to explosive and mechanical loads are analyzed. The study provides an overview of practical experience in their application within the Armed Forces of Ukraine and NATO armies and outlines the prospects for developing next-generation rapid-assembly and mobile shelter technologies.*

Keywords: *innovative materials, fortification construction, shelters, geosynthetics, composites, reinforced soils, 3D printing, engineering protection of troops.*

Інноваційні матеріали нового покоління поєднують високу міцність, низьку вагу, корозійну стійкість і технологічність монтажу, що забезпечує зниження маси споруди до 40 %, скорочення термінів зведення у 2–3 рази та підвищення вибухостійкості на 20–30 %. До таких матеріалів належать композити (склопластики, полімербетони, вуглепластики), геосинтетики (геотекстиль, георешітки, геомати), полімерні в’яжучі, армовані ґрунти та металопластикові енергоабсорбуючі елементи. Їх використання дозволяє створювати легкі збірні конструкції бліндажів, укріплень і перекриттів, забезпечуючи високу стійкість до вибухових і механічних навантажень.

Практичний досвід Збройних Сил України у 2022–2025 рр. засвідчує ефективність застосування модульних фортифікаційних споруд з композитних панелей і армованих контейнерних блоків, що характеризуються мобільністю, транспортабельністю та можливістю багаторазового використання. Геосинтетичні системи типу HESCO Bastion або їх вітчизняні аналоги показали високу результативність під час облаштування тимчасових укріплень, пунктів спостереження, артилерійських позицій і базових таборів. Вони забезпечують швидке формування бар’єрів із місцевих матеріалів, здатних витримувати значні вибухові та динамічні навантаження.

Досвід країн НАТО підтверджує перспективність використання інноваційних матеріалів не лише для фортифікацій, а й для захисту польової інфраструктури: мобільних укриттів для техніки, складів пального, медичних пунктів. Важливою тенденцією є впровадження 3D-друку з використанням полімерних композитів і швидкотверднучих бетонів, що дозволяє зводити споруди з мінімальною участю персоналу. Застосування цифрових технологій, зокрема BIM-моделювання та штучного інтелекту, відкриває можливості для автоматизованого вибору оптимальних матеріальних рішень відповідно до типу місцевості, бойових ризиків і умов експлуатації.

Подальший розвиток фортифікаційного будівництва пов’язаний із створенням гібридних і самовідновних матеріалів, наномодифікованих бетонів, а також екологічно безпечних композитів із вторинної сировини. Інтеграція досягнень матеріалознавства, цифрового проектування та досвіду бойових дій в Україні формує нову парадигму інженерного

захисту, в якій пріоритет надається мобільності, швидкому розгортанню та максимальному збереженню життя військовослужбовців.

Інноваційні матеріали стають ключовим фактором підвищення ефективності системи інженерного захисту військ. Їх застосування дозволяє не лише скоротити час і ресурси на спорудження укриттів, а й створювати багатофункціональні, адаптивні та довговічні системи оборонного будівництва нового покоління.

Список використаних джерел:

1. НД 2.04-3.2007. *Споруди цивільного захисту. Основні положення проєктування.* – К.: Мінрегіонбуд України, 2007.
2. Звіт Міністерства оборони України (2024). *Інноваційні рішення у фортифікаційному будівництві: підсумки та перспективи.* – Київ, 2024.
3. Лобанов І. М., Ковальчук В. В. *Матеріалознавство у військовому будівництві: навчальний посібник.* – Харків: ХНУПС, 2021.
4. HESCO Bastion Technical Manual. – Hesco Group, Leeds, UK, 2022.
5. Field Manual FM 5-15. *Field Fortifications.* – Department of the Army, Washington, D.C., 2022.
6. Kumar, R., Patel, S. (2023). *Advanced Composite Materials for Military Shelters. – Journal of Defense Engineering*, Vol. 11(2), pp. 68–79.
7. Кириченко О. В., Громовий С. П. *Інноваційні матеріали у фортифікаційному будівництві. – Вісник будівництва і архітектури*, №3 (2024), с. 22–30.
8. NATO STANAG 2280. *Engineering Support to Operations.* – NATO Standardization Office, Brussels, 2021.
9. Tiwari, A., Singh, R. (2022). *3D Printing Technologies in Field Engineering Applications. – Construction and Defense Review*, Vol. 9(4), pp. 41–50.
10. Шаповал В. О. *Практичне застосування геосинтетиків у польових укріпленнях. – Збірник наукових праць ЦНДІ ЗСУ*, 2023.

Любич Володимир Володимирович *– викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

Lyubich Volodymyr V. *– lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

УДК: 35.072.6:624.042

Любич В. В.

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У СФЕРІ ВІЙСЬКОВОГО ТА ЦИВІЛЬНОГО ФОРТИФІКАЦІЙНОГО БУДІВНИЦТВА

Анотація. *У тезі розглянуто сучасний стан нормативно-правового регулювання у сфері військового та цивільного фортифікаційного будівництва України. Проаналізовано систему законодавчих і технічних документів, що визначають порядок проєктування, будівництва, експлуатації та технічного обслуговування фортифікаційних споруд. Акцентовано увагу на проблемах оновлення будівельних норм у контексті досвіду повномасштабної війни, необхідності інтеграції національної нормативної бази з європейськими та натівськими стандартами, зокрема STANAG та EN. Визначено основні напрями гармонізації військових і цивільних вимог, зокрема створення єдиного міжвідомчого стандарту, цифровізацію нормативної бази для застосування у BIM-системах та оновлення вимог щодо швидкомонтованих захисних споруд. Підкреслюється, що ефективна нормативно-правова база є фундаментом обороноздатності держави й гарантією безпеки населення.*

Ключові слова: *нормативно-правове забезпечення, фортифікаційне будівництво, ДБН, цивільний захист, стандарти НАТО, STANAG, будівельні норми, інженерний захист.*

Abstract. *The thesis examines the current state of legal and regulatory frameworks governing military and civil fortification construction in Ukraine. It analyzes the system of laws and technical standards that regulate the design, construction, operation, and maintenance of fortification structures. Special attention is given to updating construction norms in the context of the full-scale war experience and the need to integrate Ukraine's regulatory base with European and NATO standards, particularly STANAG and EN. The paper highlights the key directions for harmonizing military and civil requirements, including the creation of a unified interdepartmental standard, digitalization of the regulatory database for BIM applications, and modernization of requirements for rapid-deployment protective structures. It is emphasized that an effective regulatory framework is the cornerstone of national defense capability and civil safety.*

Keywords: *legal framework, fortification construction, DBN, civil protection, NATO standards, STANAG, construction norms, engineering protection.*

Нормативно-правова система у сфері фортифікаційного будівництва є визначальним чинником забезпечення обороноздатності країни та стійкості критичної інфраструктури в умовах воєнних дій. Фортифікаційні споруди — від польових укріплень до захисних інженерних систем подвійного призначення — потребують чітко визначених норм проєктування, матеріалів, технологій і контролю якості. З огляду на масштаб і динаміку бойових дій в Україні у 2022–2025 рр., постала необхідність комплексного оновлення нормативно-правової бази, яка до цього часу спиралася переважно на радянські стандарти та застарілі підходи до інженерного захисту.

Базові засади регулювання визначаються законами України «Про оборону України», «Про правовий режим воєнного стану», «Про цивільний захист», «Про архітектурну діяльність» та «Про регулювання містобудівної діяльності». Ці акти встановлюють принципи планування, будівництва та утримання оборонних об'єктів, компетенцію державних і місцевих органів, а також механізми взаємодії між військовими та цивільними структурами. Проте реальні виклики сучасної війни показали, що формальні вимоги законодавства часто не відповідають оперативним потребам Збройних Сил та органів цивільного захисту, особливо у частині мобільності, швидкості спорудження і ремонтопридатності захисних систем

На рівні технічного регулювання діє низка державних будівельних норм (ДБН), стандартів (ДСТУ) та відомчих керівництв. Серед них — ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва», ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів», ДБН В.2.2.5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту» та ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 «Настанова щодо проєктування інженерного захисту територій». У військовому секторі головним відомчим документом є «Керівництво з польового фортифікаційного будівництва» (НФС-1-2022), яке конкретизує вимоги до польових укріплень, інженерних бар'єрів, бліндажів і сховищ. Водночас, значна частина чинних норм не враховує новітні матеріали — композити, геосинтетики, збірно-модульні конструкції — та вимоги до енергозабезпечення і сталості споруд у бойових умовах. Потребує вдосконалення й система

технічної стандартизації швидкомонтованих конструкцій і мобільних укриттів, які сьогодні масово використовуються на фронті, але не мають єдиних критеріїв сертифікації та контролю якості.

Одним із стратегічних напрямів розвитку є гармонізація національної нормативної бази з міжнародними вимогами НАТО та ЄС. Документи STANAG (зокрема 2280, 2885, 2931) встановлюють єдині стандарти щодо міцності, вибухостійкості, проектування польових фортифікацій та матеріалів захисного призначення. Імплементація цих стандартів сприятиме уніфікації вимог до фортифікаційних споруд, сумісності технічних рішень і залученню міжнародної експертизи у сфері оборонного будівництва. Для підвищення ефективності нормативно-правового забезпечення доцільним є створення єдиного міжвідомчого нормативного документа, який би узгоджував військові та цивільні вимоги, передбачав механізми швидкого оновлення стандартів, а також інтеграцію з цифровими базами даних для систем BIM. Такий підхід дозволить скоротити час погодження проєктів, оптимізувати витрати ресурсів і підвищити рівень безпеки споруд.

Отже, вдосконалення нормативно-правової бази у сфері фортифікаційного будівництва має стратегічне значення для України. Її оновлення повинно здійснюватися у трьох взаємопов'язаних напрямах — уніфікація військових і цивільних норм, модернізація технічних вимог із врахуванням сучасних технологій та гармонізація з міжнародними стандартами оборонного будівництва. Це створить підґрунтя для формування ефективної системи інженерного захисту, здатної забезпечити стійкість держави перед гібридними та високотехнологічними загрозами XXI століття.

Список використаної літератури:

1. Закон України «Про оборону України» №1932-XII від 06.12.1991 р.
2. Закон України «Про цивільний захист» №5403-VI від 02.10.2012 р.
3. ДБН В.2.2.5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. — Київ: Мінрегіон України, 2023.
4. НФС-1-2022. Керівництво з польового фортифікаційного будівництва. — МО України, 2022.
5. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо проєктування інженерного захисту територій. — Київ, 2016.
6. STANAG 2280 (Edition 3). Protective Construction Design Manual. — NATO Standardization Office, Brussels, 2021.
7. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. — Київ, 2018.
8. Кравченко І.О. Правове регулювання оборонного будівництва в Україні. — Харків: НУЦЗУ, 2023.
9. NATO Engineering Design Handbook. Field Fortifications and Protective Structures. — Brussels, 2020.
10. Постанова КМУ №138 від 10.02.2017 р. «Про затвердження Порядку утримання та використання захисних споруд цивільного захисту».

Любич Володимир Володимирович *– викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

Lyubich Volodymyr V. *– lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

УДК 621.396.967

Красноруцький А. О., Іващенко А. Є., Петренко А. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ДЖЕРЕЛ ЗМІННОГО СТРУМУ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ЗАВДЯКИ ЗАСТОСУВАННЮ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

Анотація. *На підставі систематичного аналізу сучасних підходів до технічного обслуговування літальних апаратів у нештатних точках дислокації в умовах бойових дій оцінюється можливість розроблення інструментів і засобів, що підвищать ефективність їх підготовки до застосування в бойових умовах.*

Ключові слова: *генератор, спектральний аналіз, еталон, надійність, спектр.*

Abstract. *Based on a systematic analysis of contemporary approaches to the technical maintenance of aircraft at austere deployment locations during combat operations, the feasibility of developing tools and equipment to enhance the effectiveness of their preparation for combat employment is evaluated.*

Key words: *generator, spectral analysis, reference, reliability, spectrum.*

Повномасштабне військове вторгнення росії зробило питання надійності авіаційних систем критичним. Насамперед це стосується систем електроживлення літаків, адже безперебійне постачання напруги є основою безпечної експлуатації авіатехніки. Напружені умови бойових дій (висока напруженість використання техніки, ракетні та радіоелектронні удари по аеродромах і логістиці) суттєво ускладнюють проведення планового технічного обслуговування. Надійність системи електроживлення є критично важливою для безпеки польотів та стабільної роботи літака. Будь-який збій у роботі генераторів або перетворювачів може призвести до відмови систем керування та навігації, що безпосередньо загрожує безпеці екіпажу. У сучасних умовах повномасштабної війни ефективне обслуговування військових літаків набуває особливої ваги, адже надійність їх електросистем безпосередньо впливає на боєздатність авіації та оперативність виконання завдань.

В умовах сучасного застосування авіаційної техніки особливої уваги потребує надійність систем електроживлення повітряних суден. На більшості сучасних літаків та вертольотів первинними джерелами живлення є синхронні генератори та перетворювачі змінного струму (частіше трифазні, 400 Гц). Складна конструкція таких генераторів (збудник із обертовим випрямлячем, регулятор напруги, захист тощо) вимагає постійного контролю технічного стану. З огляду на інтенсифікацію польотної експлуатації та особливості ведення бойових дій зростають вимоги до безвідмовності систем електропостачання. Ненадійність електроживлення може спричинити відмову критичних бортових систем (зв'язку, навігації, керування), що неприпустимо під час польоту. Система електроживлення забезпечує літак необхідною потужністю при мінімальних габаритах і вазі, проте кожен її елемент може бути джерелом несправності. Забезпечення безвідмовної роботи в цих умовах вимагає впровадження нових підходів до моніторингу технічного стану джерел живлення повітряного судна. Сучасні методи діагностики авіаційних генераторів змінного струму зазвичай зосереджені на контролі рівня вихідної напруги та основних параметрів (струму, частоти, характеристик регулятора). Наявні системи самоконтролю переважно перевіряють напругу, струм і температуру обмоток, що не дозволяє виявити приховані дефекти на ранніх стадіях. Наприклад, типовими прихованими дефектами є:

1. Знос або пошкодження підшипників генератора.
2. Часткові короткі замикання витків обмотки статора чи ротора.
3. Вихід з ладу одного або кількох діодів обертового випрямляча збудника.

Такі відмови практично не змінюють середню величину вихідної напруги, але спричиняють характерні гармонічні спотворення сигналу. Відсутність детального аналізу спектра напруги обмежує здатність виявляти ці приховані відхилення та знижує ефективність превентивного обслуговування. Відтак виникає потреба розробки нового методу контролю, що

доповнював би наявні засоби діагностики шляхом аналізу спектрального складу вихідної напруги.

Спектральний аналіз доповнює традиційні методи діагностики, дозволяючи враховувати не лише амплітудні параметри (рівень напруги, струму), але й форму сигналу. Запропоновано вдосконалити методи діагностики через комплексний аналіз спектрального складу вихідної напруги генератора змінного струму. Вимірюється синусоїдальний сигнал напруги на виході джерела та обчислюється його спектр (наприклад, методом швидкого перетворення Фур'є). Практика показує, що дефекти в механічній або електричній частинах генератора призводять до появи нових або зміни амплітуд характерних гармонік у цьому спектрі. Перевагою цього методу є відсутність необхідності модифікувати сам генератор: вимірювання вихідної напруги здійснюється наявними бортовими датчиками. Наприклад, при обриві однієї з фаз обмотки збудження у спектрі з'являються додаткові гармонічні компоненти, а при короткому замиканні діода обертового випрямляча змінюються амплітуди окремих гармонік. За реалізацією слідує порогова оцінка: якщо рівень певної характерної гармоніки перевищує встановлений поріг, система видає сигнал тривоги про можливу відмову.

Для ілюстрації було створено віртуальну модель трифазного синхронного генератора, на якій отримано спектри напруги для нормального режиму роботи, а також для типових дефектів (наприклад, обрив фази збудження або коротке замикання діода випрямляча). Такі результати дозволяють сформувати базу еталонних спектрів, що слугує для порівняння з реальним спектром генератора і полегшує ідентифікацію характерних ознак кожного виду несправності. У реальному часі можна встановити порогові значення для амплітуд гармонік: якщо рівень певної частоти перевищує поріг, система сигналізує про необхідність перевірки. Метод може застосовуватися як у режимі періодичних перевірок перед польотом, так і для безперервного моніторингу під час польоту.

Застосування спектрального аналізу для діагностики джерел змінного струму забезпечує кілька важливих переваг порівняно з традиційними методами:

1. Безперервний моніторинг технічного стану генератора без необхідності відключення живлення або зупинки двигуна.
2. Раннє виявлення дефектів ще до того, як вони спричинять падіння середньої напруги.
3. Ідентифікація характерних несправностей (зношення підшипників, обриви обмоток, поломки діодів тощо) за формою спектра вихідної напруги.
4. Метод підходить для різних типів генераторів і режимів роботи завдяки наявності бази еталонних спектрів для різних умов.
5. Уніфікація процесу діагностики завдяки аналізу єдиного сигнального каналу (вихідної напруги) для виявлення різних типів дефектів.
6. Економічність реалізації – не потребує додаткового обладнання, використовуючи наявні датчики та ресурси бортових систем.
7. Для впровадження спектрального методу діагностики, слід передбачити швидке й точне вимірювання вихідної напруги за допомогою датчиків і аналого-цифрових перетворювачів із достатньою смуговою пропускною здатністю
8. Базу еталонних спектрів (для нормальних режимів і типових дефектів), отриманих експериментально або за допомогою моделювання, з урахуванням різних режимів навантаження.
9. Інтеграцію з наявними бортовими системами моніторингу та управління електроживленням літака.

Таким чином, запропонований підхід сприяє підвищенню надійності діагностики електричних систем повітряного судна. Використання спектрального аналізу доповнює традиційні методи контролю, робить систему діагностики більш вдалою у визначенні початкових стадій розвитку дефектів. Підсумовуючи, це знижує ризик неочікуваних відмов генераторів у польоті, та підвищує ефективність технічного обслуговування авіаційних систем. Це відповідає сучасним вимогам безпеки і може знизити витрати на обслуговування, оскільки дефекти виявлятимуться на ранній стадії і планово усуватимуться. Загалом, система діагностики генераторів стає комплексною до визначення незначних відхилень, що сприяє підвищенню загальної надійності авіаційних систем.

Список використаних джерел

1. Системи електропостачання повітряних суден : навч. посіб. / О. Є. Зєнович, В. А. Хлоп'ячий, В. М. Кривонос та ін. – Х. : ХНУПС, 2021. – 216 с.
2. Mohsen Mostafaei, Jawad Faiz. An overview of various fault detection methods in synchronous generators. https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1049/elp2.12031
3. DC / AC Converter Electrical Test Equipment. https://www.highvoltage-tester.com/sale-10880316-dc-ac-converter-electrical-test-equipment-earth-resistance-testing-equipment.html
4. https://interferencetechnology.com/review-of-mil-std-704-requirements/
5. https://rfimmunity.com/wp-content/uploads/2017/04/MIL-STD-1275D.pdf
6. https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/f500bffb-45eb-422f-abb5-3e2e868a7b3b/en-2282-1992

Краснорyцький Андрій Олександрович *– кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету, e-mail: krasnorycki@ukr.net, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, м. Харків, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4318-2217, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, вулиця Динамівська 3а, м. Харків, 61023.*

Іващенко Артем Євгенійович *– слухач 6 курсу інженерно-авіаційного факультету, e-mail: 59871515gm@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, м. Харків, ORCID: https://orcid.org/0009-0005-7303-2622, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, вулиця Динамівська 3а, м. Харків, 61023.*

Петренко Антон Вадимович *– слухач 6 курсу інженерно-авіаційного факультету, e-mail: antonpetrenko10@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, м. Харків, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, вулиця Динамівська 3а, м. Харків, 61023.*

Krasnorutsky Andriy Oleksandrovych *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Aviation Equipment of Airplanes and Helicopters, Faculty of Aviation Engineering, e-mail: krasnorycki@ukr.net, Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozhedub, Kharkiv, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4318-2217, Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub, 3a Dynamivska Street, Kharkiv, 61023.*

Ivashchenko Artem Yevheniyovych *– 6th year student of the Faculty of Aviation Engineering, e-mail: 59871515gm@gmail.com, Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozhedub, Kharkiv, ORCID: https://orcid.org/0009-0005-7303-2622, Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozhedub, 3a Dynamivska Street, Kharkiv, 61023.*

Petrenko Anton Vadymovych *– 6th year student of the Faculty of Aviation Engineering, e-mail: antonpetrenko10@gmail.com, Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozhedub, Kharkiv, Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozhedub, Dynamivska Street 3a, Kharkiv, 61023.*

УДК 620.193.16

Стечишин М. С., Люховець В. В., Стечишина Н. М., Здоренко Д. В.

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АЗОТУВАННЯ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ НА МІЦНІСТЬ СТВОЛІВ МІНОМЕТІВ

Анотація: *Досліджували вплив технологічних параметрів безводневого азотування в тліючому розряді (температура азотування, склад насичувального середовища, тиск в газорозрядній камері та тривалість азотування) на структурний і фазовий склад, товщину азотованого шару, мікротвердість та її розподіл по глибині зміцненого азотуванням поверхневого шару внутрішніх поверхонь стволів мінометів із титанового сплаву ВТ22.*

Ключові слова: *титановий сплав ВТ22, азотування, мікротвердість, міцність.*

Annotation: *The influence of technological parameters of hydrogen-free nitriding in a glow discharge (nitriding temperature, composition of the saturating medium, pressure in the gas discharge chamber, and nitriding duration) on the structural and phase composition, thickness of the nitrided layer, microhardness, and its distribution over the depth of the nitriding-hardened surface layer of the internal surfaces of mortar barrels made of titanium alloy VT22 was investigated.*

Keywords: *titanium alloy VT22, nitriding, microhardness, strength.*

Метою досліджень було визначення залежності характеристик азотованого шару (глибини, твердості, структури, фазового і хімічного складу) від основних параметрів технологічного процесу (тиску, складу насичувального середовища, температури і тривалості процесу). У якості робочих газів застосовувалися суміші азоту і аргону (в різних співвідношеннях), температура насичення змінювалася від 700 ºС до 800 ºС, тиск газової суміші в процесі дифузійного насичення – від 67 Па до 320 Па, тривалість процесу – від 240 хв до 300 хв. Зразки для азотування являли собою пустотілі циліндри (втулки): $D_{зовн} = 50^{-0,1}$ мм, $d_{вн} = 35^{+0,05}$ мм, L = 50 мм. Розміри зразків визначали за критерієм геометричної подібності із виробом замовника. Фізико-хімічний аналіз зразків виконувався у три етапи: мікроскопія – аналіз зображення з метою виявлення структури матеріалу; вимірювання мікротвердості (твердометрія); рентгенофазовий аналіз [1]. Останній етап випробувань включав деформувальне протягування в технологічному мастилі із визначенням осьової сили протягування.

Виходячи з того, що сам процес безводневого азотування в тліючому розряді (БАТР) дозволяє широку зміну властивостей отримуваних покриттів через прості, легко керовані технологічні параметри, отримуємо можливість їх оптимізації за заданими контрольними характеристиками. При цьому вихідними параметрами процесу поверхневого зміцнення можуть бути як експлуатаційні (зносостійкість, міцність, тріщиностійкість, втомна витривалість), так і внутрішні фізико-механічні властивості (товщина шару, фазовий склад дифузійного шару, його структура, твердість тощо) [2].

Для визначення оптимальної кількості азоту в насичувальному середовищі, температури та тиску в розрядній камері проведено ряд технологічних режимів (6 режимів) зміцнення титану ВТ22. Технологічні параметри процесу утворення нітридного шару в тліючому розряді: температура процесу Т = 700–750ºС, тривалість зміцнення τ = 300 хв, тиск в камері змінювався від 67 Па до 320 Па, вміст азоту в насичувальному середовищі - від 15 % до 75 % об.

У процесі досліджень зразків із титану ВТ22 отримані залежності поверхневої мікротвердості нітридного шару від технологічних параметрів процесу зміцнення − тиску в розрядній камері та вмісту азоту в насичувальному середовищі. Дані поверхневої мікротвердості зміцнених втулок (1 – 6) і їх режими наведені в таблиці 1.

Для визначення глибини азотованого шару на втулках зробили шліфи і визначили мікротвердість, а дані занесли в таблицю 2. Залежності зміни мікротвердості по глибині азотованого шару при різних технологічних режимах зміцнення показані на рисунку 1.

Таблиця 1. Режими азотування втулок (втулки 1-6)

Номер втулки	Режими азотування	Мікротвердість $H_{0,1}$,	
		до зміцнення	після зміцнення
1	2	3	4
1	Температура T=750°C; тиск p=320 Па; суміш: 50%N_2+50% Ar об; час t=300 хв	420	1310
2	Температура T=700°C; тиск p=320 Па; суміш: 15%N_2+85% Ar об; час t=300 хв	420	790
3	Температура T=700°C; тиск p=320 Па; суміш: суміш: 50%N_2+50% Ar об; час t=300 хв	420	760
4	Температура T=750°C; тиск p=67 Па; суміш: 75%N_2+25% Ar об; час t=240 хв. Втулку попередньо нагрівали в середовищі аргону до температури 800 °C та витримали при цій температурі на протязі 60 хв. Потім деталь охолодили до T=560°C, відкачавши аргон. Далі втулку нагріли до T=750°C.	420	724
5	Температура T=750°C; тиск p=67 Па; суміш: 75%N_2+25% Ar об; час t=120 хв. Втулку нагріли в середовищі аргону до температури T=750 °C та витримали при цій температурі на протязі 60 хв. Потім з камери відкачали аргон і почали нагрівати деталь до T=750°C в середовищі 75%N_2+25% Ar, втулку нагріту до T=750°C азотували 60 хв. Далі з камери відкачали робочу суміш і повторили нагрів втулки до T=750°C в середовищі аргону на 60 хв. Потім знову повторили нагрів в суміші та в аргоні. Деталь нагрівали три рази в аргоні та два рази в суміші.	420	918
6	Азотування проводили при T=700°C ; тиск p=67 Па; суміш: 15%N_2+85% Ar; t=240 хв. Втулку нагріли в середовищі 15%N_2+85% Ar до температури 700 °C та протримали при цій температурі на протязі 240 хв. Потім з камери відкачали суміш робочих газів і почали нагрівати деталь до T=750°C в середовищі Ar=100%, втулку нагріту до T=750°C витримали 60 хв і охолодили разом з камерою.	420	544

Таблиця 2. Розподіл твердості $HV_{0,1}$ по глибині азотованого шару ВТ22 (втулки 1-6)

Номера азотованих втулок	Глибина, мкм										
	0 (на поверхні)	**25**	**35**	**50**	**75**	**100**	**150**	**200**	**300**	**500**	**1000**
1	1310	530	426	399	402	399	402				
2	790	435	441	368	363	345	338				
3	760	443	402	448	422	426	422		418		
4	724	481	431	422	403	384	347	350	341	360	350
5	918	729	644	609	615	548	513	449	469	439	439
6	544	395	395	410	435	435	430	431	448	435	418

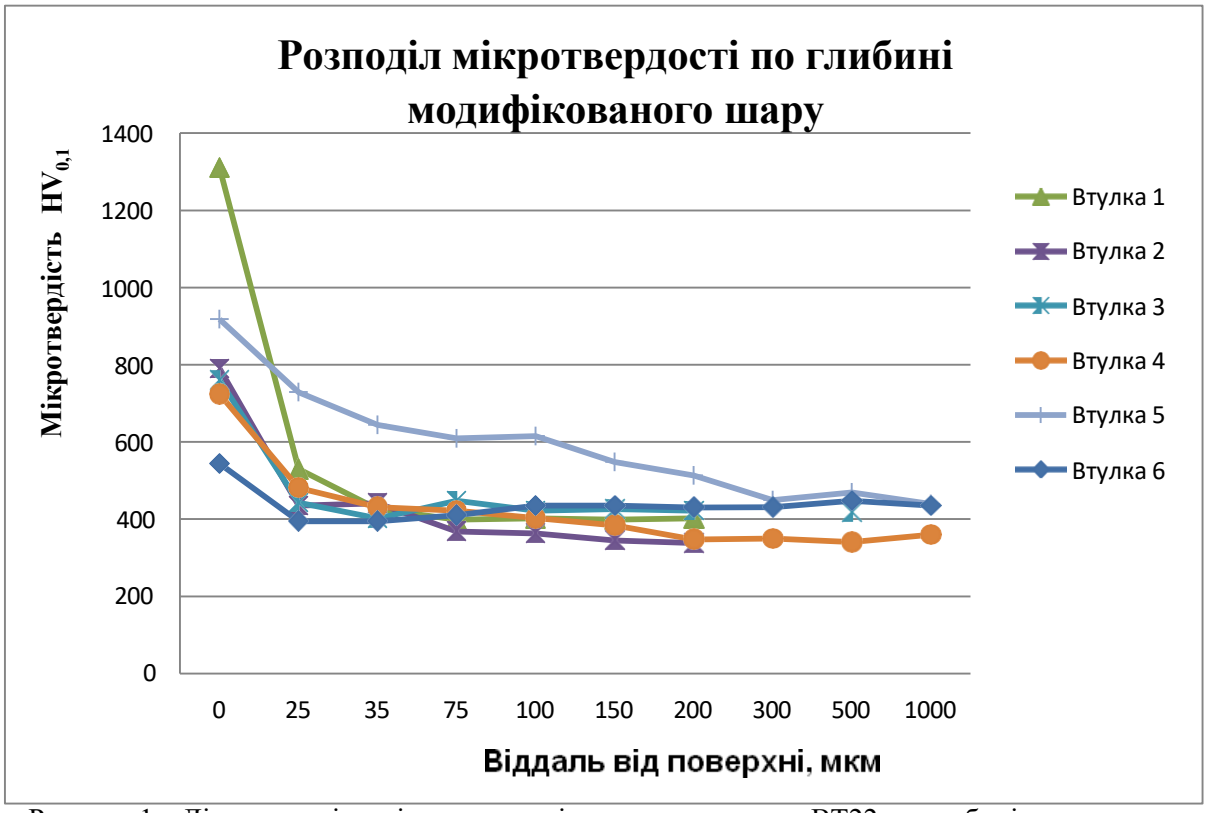


Рисунок 1 – Діаграма зміни мікротвердості титанового сплаву ВТ22 по глибині азотованого шару при різних технологічних режимах зміцнення

Далі модифіковані втулки (1 – 6) з титанового сплаву ВТ22 піддали деформуючому протягуванню в технологічному мастилі. Схоплювання всіх втулок відбулося на третьому циклі протягування, але осьові сили протягування втулок досить сильно різняться. Результати досліджень занесені в таблицю 3.

Таблиця 3. Експериментальні дані, отримані при деформуючому протягуванні втулок зі сплаву ВТ22

Номер втулки	Осьові сили протягування Q, кН			
	1 цикл	2 цикл	3 цикл	3 цикл
1	3,0	12,0	27,0	схоплення
2	10,0	16,7	90,0	схоплення
3	10,0	27,0	схоплення	
4	6,2	13,4	58,3	схоплення
5	6,86	11,6	15,2	тріснула
6	4,9	10,5	126,5	схоплення

Проаналізувавши дані отримані в таблицях 1 – 3 та діаграму зміни мікротвердості титанового сплаву ВТ22 по глибині азотованого шару при різних технологічних режимах зміцнення (рис.1) можна зробити висновок, що для покращення експлуатаційних параметрів процесу поверхневого зміцнення потрібно збільшити вміст азоту для інтенсивного утворення нітридних шарів, таких як TiN на поверхні сплаву. Це покращує твердість та зносостійкість, але водночас може створити щільний шар, який уповільнює дифузію азоту вглиб. Тому додавання аргону до азотного середовища зменшує утворення нітридної фази на поверхні й стимулює об'ємну дифузію, що дозволяє отримати більш глибокий модифікований шар.

Температура також є одним із ключових факторів, який впливає на кінетику дифузії. Низькі температури (<700°C) сповільняють процес дифузії азот, переважно утворюючи твердий розчин у титановій матриці без значного утворення нітридів. Це сприяє збереженню механічних властивостей серцевини. Високі температури (>800°C): дифузія азоту значно

активізується, але з'являється ризик укрупнення зерен та погіршення властивостей серцевини (міцність, пластичність). При цьому спостерігається активне формування TiN, який покращує зносостійкість, але може негативно вплинути на опір втомі.

Оптимальна температура для сплаву ВТ22 зазвичай становить 700–750°С, що дозволяє досягти балансу між глибиною дифузії, твердістю та збереженням об'ємних механічних властивостей.

Низький тиск у розрядній камері сприяє активній дифузії азоту вглиб металу, оскільки зменшується утворення щільного поверхневого нітридного шару, що може бути бар'єром для подальшого проникнення азоту. Високий тиск: сприяє формуванню товстих нітридних шарів, але може знижувати глибину дифузії через блокування поверхні. Тому для забезпечення оптимального утворення нітридної фази на поверхні та проникнення азоту вглиб потрібно створити в камері середній тиск, щоб досягти рівновагу між формуванням зміцненого шару і глибиною азотування.

Список використаних джерел:

1. Мирослав Степанович Стечишин, Олександр Володимирович Диха, Наталья Сергіївна Машовець Дослідження фізико-хімічних властивостей азотованих в тліючому розряді титанових сплавів для виготовлення елементів зброї. Матеріали Міжнародної IV науково-практичної інтернет-конференції "Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки". Вінниця. 2024. 3с

2. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 2006.

Стечишин Мирослав Степанович *– доктор технічних наук, професор кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії Хмельницького національного університету, м. Хмельницький, вул. Інститутська 11, інд. 29016, e-mail: miro011951@gmail.com. ORCID https://orcid.org/0000-0001-5780-2790.*

Люховець Володимир Васильович *– кандидат технічних наук, доцент кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії Хмельницького національного університету, м. Хмельницький, вул. Інститутська 11, інд. 29016, e-mail: vladimirlider76@gmail.com. ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-6978-7820.*

Стечишина Надія Мирославівна *– кандидат технічних наук, старший науковий співробітник НДЧ Хмельницького національного університету, м. Хмельницький, вул. Інститутська 11, інд. 29016, e-mail: n.stechyshyna@gmail.com. ORCID https://orcid.org/ 0000-0003-2045-4774.*

Здоренко Денис Вікторович *– магістр, Хмельницького національного університету, м. Хмельницький, вул. Інститутська 11, інд. 29016, e-mail: d.zdorenko@bgv.com. ORCID https://orcid.org/ 0009-0004-3872-3797.*

Stechyshyn Myroslav Stepanovych *– Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering and Agricultural Engineering of Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, 11 Instytutska St., ind. 29016, e-mail: miro011951@gmail.com. ORCID https://orcid.org/0000-0001-5780-2790.*

Liukhovets Volodymyr Vasylovych *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering and Agricultural Engineering, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, 11 Instytutska St., ind. 29016, e-mail: vladimirlider76@gmail.com. ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-6978-7820.*

Stechyshyna Nadiya Myroslavivna *– Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Research and Development Department of Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, 11 Instytutska St., Ind. 29016, e-mail: n.stechyshyna@gmail.com.*

ORCID https://orcid.org/ 0000-0003-2045-4774.

Zdorenko Denys Viktorovych – Master, Khmelnytsky National University, Khmelnytskyi, 11 Instytutska St., ind. 29016, e-mail: d.zdorenko@bgv.com. ORCID https://orcid.org/ 0009-0004-3872-3797.

УДК 62.8:355.47

Дігтярь М. М., Пєшков В. О.

УДОСКОНАЛЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РАДІОВИСОТОМІРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОЛЬОТУ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ БОЙОВИХ ЗАВДАНЬ

Анотація. *Розглядається проблема підвищення точності визначення параметрів польоту повітряних суден за рахунок удосконалення методів обробки інформативних сигналів радіовисотомірів. Приділяється увага питанням зниження похибок вимірювання, підвищення завадостійкості та адаптації сучасних радіовисотомірів до складних умов бойового застосування. Проведено аналіз існуючих систем радіовимірювання висоти, розглянуто можливість цифрової обробки та алгоритмів фільтрації сигналів для підвищення точності та надійності роботи. [1].*

Ключові слова: *радіовисотомір, точність, польотні параметри, завадостійкість, малі висоти.*

Annotation. *The problem of improving the accuracy of determining aircraft flight parameters by improving methods for processing informative signals from radio altimeters is considered. Attention is paid to reducing measurement errors, improving noise immunity, and adapting modern radio altimeters to the complex conditions of combat use. An analysis of existing radio altitude measurement systems is carried out, and the possibility of digital processing and signal filtering algorithms to improve accuracy and reliability is considered.*

Keywords: *radio altimeter, accuracy, flight parameters, interference immunity, low altitude.*

Сучасні вимоги до бойового застосування авіації вимагають високої точності визначення параметрів польоту, особливо під час виконання завдань на малих і гранично малих висотах. Радіовисотоміри є ключовим елементом навігаційного комплексу, оскільки забезпечують вимірювання істинної висоти над поверхнею землі незалежно від атмосферних умов [2].

Точність вимірювання висоти радіовисотоміром залежить від стабільності частоти передавача, форми відбитого сигналу та рівня завад. У реальних бойових умовах на точність впливають рельєф місцевості, тип поверхні, наявність радіолокаційних завад. Тому одним із напрямків удосконалення є застосування алгоритмів цифрової фільтрації сигналів, що дозволяють виділяти корисний сигнал на фоні завад (рисунок 1).

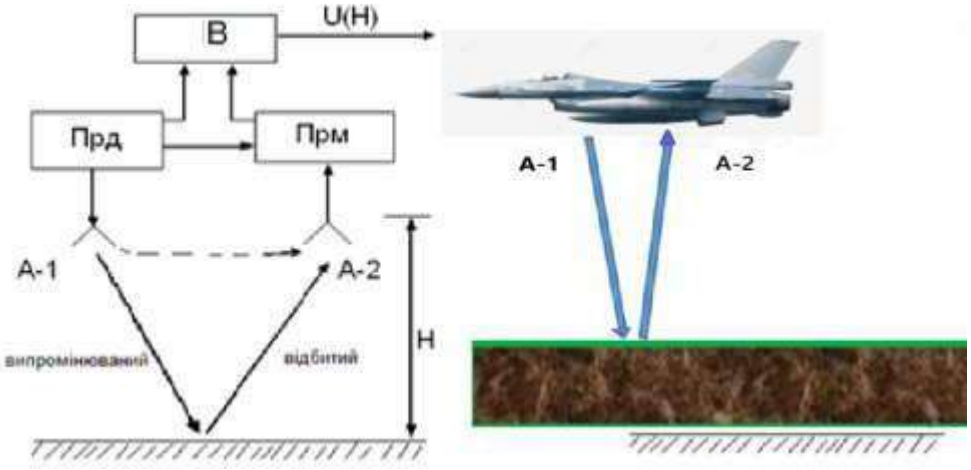


Рис. 1. Принципова схема роботи радіовисотоміра малих висот.

Для підвищення завадостійкості доцільно використовувати широкосмугові сигнали з кутовою модуляцією (FMCW - Frequency-Modulated Continuous Wave) [3], що дозволяє покращити роздільну здатність та стабільність вимірювань. Пропонується варіант калібрування системи за даними інерціальних та супутникових навігаційних засобів.

Отримані результати підтверджують, що застосування удосконалених методів цифрової обробки сигналів та інтеграції з іншими системами навігації дозволяє знизити середньоквадратичну похибку визначення висоти на 15–20 % у порівнянні з базовими аналоговими системами [4].

Таким чином, впровадження нових методів вимірюваньвикористання радіовисотомірів малих висот є перспективним напрямком підвищення точності навігаційного забезпечення бойових польотів та безпеки виконання завдань у складних умовах.

Список використаних джерел:

1. Суханов О.Ю., Ященок В.Ж., Краснoруцький А.О. Бортові Радіонавігаційні пристрої та системи. Частина 2. Радіотехнічні системи ближньої та дальної навігації: – Харків: ХУПС; 2015.

2. Бондаренко М. І., Висотоміри літальних апаратів: навчальний посібник. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.

3. Doc 9718. Vol 1. Edition 2. Handbook on Radio Frequency Spectrum Requirements for Civil Aviation. Volume I. ICAO spectrum strategy, policy statements and related information. ICAO documents base | Aerostandard.

4. Васильєв В.М., Радіонавігаційні системи: – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського; 2023.

Дігтярь Микола Миколайович *– старший викладач кафедри радіоелектронного обладнання літальних апаратів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків, вул.Сумська,77/79, інд. 61023 e-mail: info@hups.mil.gov.ua, ORCID https://orcid.org/0000-0001-9208-7593*

Пєшков Владислав Олександрович *– слухач Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків, вул.Сумська,77/79, інд. 61023 e-mail: info@hups.mil.gov.ua*

Digtyar Mikolay M. *– Senior Lecturer of the Department of Radioelectronic Equipment of AircraftIvan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv,e-mail: nikdeg1960@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001-9208-7593*

Pieshkov Vlad O. – *listener of the Department of Radioelectronic Equipment of AircraftIvan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv,e-mail: nikdeg1960@gmail.com*

УДК 629.735.051.4

Король В. В., Зєнович О. Є.

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ АВІАЦІЙНИХ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТИПУ ПТС-800

Анотація. *У роботі розглянуто будову, принцип дії та експлуатаційні особливості авіаційного статичного перетворювача типу ПТС-800, який призначений для перетворення постійної напруги 27 В у трифазну змінну напругу 200/115 В, 400 Гц (з нульовим виводом). Наведено аналіз основних недоліків конструкції та роботи пристрою, визначено напрями вдосконалення, серед яких – використання сучасної напівпровідникової бази, впровадження цифрового керування, покращення системи охолодження, а також оптимізація масо-габаритних параметрів.*

Запропоновані технічні рішення спрямовані на підвищення коефіцієнта корисної дії, зменшення втрат енергії, покращення стабільності вихідних параметрів і підвищення надійності експлуатації в умовах бойового застосування авіаційної техніки.

Ключові слова: *ПТС-800, перетворювач, інвертор, електроживлення, модернізація, цифрове керування, охолодження.*

Abstract. *The paper presents the structure, operating principle, and technical features of the PTS-800 aviation static converter, which transforms 27 V DC into a three-phase 200/115 V, 400 Hz AC voltage (with a neutral output).*

The main disadvantages of the current design and operation are analyzed. The proposed modernization directions include implementing modern semiconductor elements, digital control, improved cooling systems, and optimization of mass and dimensions.

The suggested improvements are aimed at increasing efficiency, reducing energy losses, enhancing stability of output parameters, and improving reliability of aircraft power supply systems under operational and combat conditions. Keywords: PTS-800, converter, inverter, power supply, modernization, digital control, cooling.

Keywords: *PTS-800, converter, inverter, power supply, modernization, digital control, cooling.*

Сучасна авіаційна техніка вимагає стабільних і надійних джерел електроживлення, здатних забезпечувати необхідні параметри напруги та частоти у різних режимах польоту. Одним із основних пристроїв, що виконують цю функцію, є авіаційні статичні перетворювачі типу ПТС-800.

Вони застосовуються на літаках та вертольотах у якості аварійних джерел для живлення навігаційного, прицільного, зв’язкового та іншого обладнання. З огляду на тривалий період експлуатації та моральне старіння елементної бази, виникає необхідність у розробці заходів щодо вдосконалення ПТС-800.

До складу перетворювача ПТС-800 входять: вольтодобавочні регулятори (конвертори); блок керування вольтодобавочними регуляторами; силові інвертори із блоками керування; вимірювальний орган вольтодобавочних регуляторів і нормалізатор (для автоконтролю); трансформаторно-фільтруючий пристрій; вхідний і вихідний фільтри радіоперешкод.

Перетворення здійснюється по двох каналах, кожний з яких містить вольтодобавочний регулятор напруги й інверторную частину зі схемою керування. Об'єднання каналів на виході перетворювача здійснює вихідний трансформаторно-фільтруючий вузол.

У ПТС-800 використовується спосіб формування трифазної ЕРС з двох однофазних за схемою Скотта. Наближення форми кривої вихідної напруги до сінусоїдальної забезпечується введенням паузи між прямокутними імпульсами та застосуванням фільтруючих пристоїв.

Система автоматичного регулювання напруги підтримує стабільні параметри вихідної напруги незалежно від зміни навантаження.

Охолодження забезпечується примусовою вентиляцією.

В процесі експлуатації ПТС-800 на авіаційній техніці виявлено такі проблеми: перегрів силових елементів через недостатню ефективність охолодження; зниження ємності конденсаторів вихідних фільтрів при тривалій роботі, що призводить до спотворення форми вихідної напруги; застаріла елементна база з низьким ККД; відсутність системи самодіагностики та цифрового контролю; підвищена маса та габарити.

Розроблені пропозиції передбачають комплексне оновлення конструкції перетворювача: використання MOSFET або IGBT-транзисторів замість старих біполярних елементів, що зменшує втрати та підвищує ККД до 90–92 %; впровадження цифрової системи керування на базі мікроконтролера замість схем на логічних елементах; керування силовою частиною перетворювача за допомогою широтно-імпульсного модулятора, що дозволить значно покращити форму кривої вихідної напруги та зменшити масу та габарити фільтрів; покращення системи охолодження шляхом використання безщіткових вентиляторів EC-типу та термоконтролю; модульна конструкція, яка забезпечує швидку заміну окремих вузлів без повного демонтажу; застосування твердотільних конденсаторів і легких корпусних матеріалів для зменшення маси.

Очікується що удосконалений перетворювач забезпечуватиме: зниження маси на 10–15 %; підвищення ККД до 92 %; зменшення рівня нагріву на 10–12 °C; стабільність вихідної напруги при змінні навантаження в експлуатаційному діапазоні; підвищення ресурсу експлуатації до 12 років.

Список використаних джерел:

1. Технічний опис і інструкція з експлуатації ПТС-800.
2. https://vertol.com.ua/catalog/katalog-ati/ati-dlya-otechestvennyh-vs/sistemy-bortovogo- oborudovaniya/sistema-bortovogo-10
3. Зєнович О.Є., Кривонос В.М. Системи електропостачання повітряних суден. - Х.: ХНУПС, 2021.
4. Електропостачання повітряних суден. / В. П. Захарченко, С.В. Єнчев, С.С. Ільєнко та ін.– К. : КНАУ, 2021.
5. Єгоров С.П. Силова електроніка в авіації. – К.: КНАУ, 2020.
6. Гончаренко В.П. Перетворювачі електроенергії для авіаційних систем. – К.: Авіаційна техніка, 2019.

Король Володимир Володимирович *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail:vova.korol.6@gmail.com.*

Зєнович Олександр Євгенович *– кандидат технічних наук, доцент кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: aezenovich@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9982-6274.*

Korol Volodymyr Volodymyrovych *– Cadet, Faculty of Aircraft Engineering, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, 77/79 Sumska Str., Kharkiv, 61009, Ukraine, e-mail: [your e-mail].*

Zienovych Oleksandr Yevhenovych *– PhD (Eng.), Associate Professor, Department of Aircraft and Helicopter Equipment, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, 77/79 Sumska Str., Kharkiv, 61009, Ukraine, e-mail: aezenovich@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9982-6274.*

УДК: 355.44:624.042

Любич В. В.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЄКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАХИСНИХ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ В УМОВАХ ВОЄННИХ ЗАГРОЗ

Анотація. *У тезі розглянуто сучасні підходи до проєктування та експлуатації захисних споруд цивільного захисту України в умовах зростаючих воєнних загроз. Здійснено аналіз нормативно-правової бази, конструктивних рішень, технологічних інновацій та експлуатаційних аспектів функціонування укриттів, сховищ і споруд подвійного призначення. Показано необхідність переходу від застарілих радянських стандартів до сучасної інтегрованої системи захисту населення, орієнтованої на ефективність, мобільність та енергоефективність споруд.*

Ключові слова: *цивільний захист, укриття, захисні споруди, фортифікаційне будівництво, BIM-технології, безпека населення, подвійне призначення, інноваційні матеріали.*

Abstract. *The thesis examines modern approaches to the design and operation of civil defense shelters in Ukraine under the current conditions of military aggression. The analysis covers regulatory frameworks, innovative construction materials, technological solutions, and maintenance strategies for protective structures. Emphasis is placed on the transition from outdated Soviet standards to an integrated system of civil protection focused on mobility, energy efficiency, and sustainability. The conclusion emphasizes that modern civil defense requires a comprehensive, human-centered, and technology-driven model combining engineering, legal, and social dimensions of resilience and security.*

Keywords: *civil protection, shelters, protective structures, BIM technologies, population safety, dual-purpose facilities, innovative materials.*

Сучасні воєнні загрози, які постали перед Україною, актуалізували питання розвитку системи цивільного захисту як невід'ємної складової національної безпеки. Одним із ключових елементів цієї системи є захисні споруди цивільного захисту – інженерні об'єкти, призначені для забезпечення збереження життя і здоров'я населення під час воєнних дій або надзвичайних ситуацій. В умовах повномасштабної агресії Російської Федерації постала потреба у швидкому оновленні підходів до проєктування, будівництва та експлуатації таких споруд, з урахуванням нових типів загроз – високоточного озброєння, касетних боєприпасів, дронових атак, техногенних вибухів тощо.

Одним із першочергових напрямів є оновлення нормативно-правової бази. Протягом останніх років було прийнято нову редакцію ДБН В.2.2-5:2023 "Захисні споруди цивільного захисту", яка деталізує вимоги до проєктування, розміщення та забезпечення укриттів населення. Нормативи враховують сучасні стандарти безпеки, ергономіки, вентиляції, герметизації, санітарно-технічного забезпечення, доступності для маломобільних груп населення. Разом із тим, чинна нормативна база потребує гармонізації з міжнародними документами, зокрема зі стандартами ISO та рекомендаціями Міжнародної організації цивільного захисту (ICDO).

Технологічна еволюція у галузі будівництва захисних споруд характеризується широким впровадженням інноваційних матеріалів і конструктивних систем. Використання високоміцних залізобетонів, композитів, геосинтетичних армувальних систем, модульних збірно-розбірних конструкцій дозволяє скоротити терміни зведення споруд та підвищити їх стійкість до вибухових навантажень. Застосування енергоефективних матеріалів і пасивних систем мікроклімату сприяє тривалому автономному перебуванню людей у сховищах.

Важливою інновацією стає використання BIM-технологій (Building Information Modeling), які забезпечують повний життєвий цикл споруди — від проєктування до експлуатації. Інформаційні моделі дозволяють створювати цифрові двійники укриттів, що спрощує моніторинг технічного стану, планування ремонтів, контроль ресурсів і управління евакуаційними процесами. В умовах воєнного стану BIM стає інструментом оперативного управління інженерною інфраструктурою міст, дозволяючи прогнозувати пошкодження та оптимізувати розміщення нових укриттів.

Сучасна концепція розвитку захисних споруд передбачає також переосмислення просторової організації міського середовища. Все більшої актуальності набуває ідея споруд подвійного призначення – таких, що в мирний час функціонують як підземні паркінги, склади, спортзали чи торгові площі, а в разі загрози швидко переобладнуються в укриття. Такий підхід поєднує економічну доцільність, раціональне використання підземного простору і підвищення готовності населення до надзвичайних ситуацій.

Експлуатація захисних споруд вимагає належної організації технічного обслуговування, систематичного моніторингу стану конструкцій, забезпечення вентиляції, енергопостачання, санітарних вузлів і комунікацій. Одним із проблемних питань залишається недостатнє фінансування робіт із технічного обстеження та ремонту існуючих укриттів, особливо побудованих у 1960–1980-х роках. Водночас низка українських громад уже впроваджує програми відновлення захисних споруд, залучаючи місцеві бюджети, міжнародну допомогу та приватний сектор.

Отже, сучасні підходи до проєктування та експлуатації захисних споруд мають базуватися на принципах комплексності, технологічності, мобільності та сталості. Майбутня система цивільного захисту в Україні повинна ґрунтуватися на інтегрованій моделі безпеки, де фортифікаційне будівництво поєднується з урбаністичним плануванням, а захисні споруди стають органічною частиною інфраструктури міста.

Список використаних джерел:

1. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. – К.: Мінрегіон України, 2023.
2. Кодекс цивільного захисту України. – Відомості Верховної Ради України, 2013, № 34–35.
3. Костенко О.В. Інженерний захист територій і населення: навч. посібник. – Київ: Ліра, 2021.
4. International Civil Defence Organization (ICDO). Civil Protection Guidelines for Shelters and Safe Areas. – Geneva, 2020.
5. Gidron, B., & Cohen, S. Urban Resilience and Shelter Design in Conflict Zones. – Springer, 2019.
6. Ministry of Defence of Ukraine. Engineering Protection and Fortification Standards. – Kyiv, 2024.
7. Петренко І.М., Титаренко С.В. Сучасні технології фортифікаційного будівництва в Україні. – Вісник ВІТІ, 2023, №2.

Любич Володимир Володимирович *– викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

Lyubich Volodymyr V. *– lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

УДК 629.7.069

Федоришин Є. Я., Борсук Є. О., Георгієв Ю. В.

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВНУТРІШНЬОГО СВІТЛОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІТКА МІГ-29

Анотація. *У роботі розглянуто проблематику застарілості системи контролю технічного стану внутрішнього світлотехнічного обладнання багатоцільового винищувача МіГ-29 та обґрунтовано напрями її вдосконалення з урахуванням сучасних тенденцій у сфері авіаційного приладобудування та електроніки.*

Ключові слова: *Світлотехнічне обладнання, контроль стану, удосконалення, несправність, діагностика.*

Annotation. *The paper considers the problem of the obsolescence of the technical condition monitoring system for the internal lighting equipment of the multi-role MiG-29 fighter and substantiates the directions for its improvement, taking into account current trends in the field of aviation instrumentation and electronics.*

Keywords: *Lighting equipment, condition monitoring, improvement, fault (malfunction), diagnostics.*

Вступ.

Літак МіГ-29, який є основою парку тактичної авіації Повітряних Сил України, має високі льотно-технічні характеристики, однак значна частина його бортового обладнання була розроблена ще у 1970–1980-х роках. Зокрема, система внутрішнього світлотехнічного обладнання (кабінне підсвічування, індикатори, сигнальні лампи) використовує аналогові вузли та електролампові або люмінесцентні джерела світла, контроль технічного стану яких здійснюється переважно шляхом періодичних перевірок обслуговуючим персоналом. Така система не відповідає сучасним вимогам оперативності діагностики, надійності та енергоефективності.

Проблематика існуючої системи.

Сучасна практика експлуатації виявляє низку проблем:

- відсутність автоматизованого моніторингу стану світлотехнічних елементів;
- високий рівень відмов через старіння лампових і контактних елементів;
- складність контролю та технічного обслуговування у нічних умовах;
- значні енергетичні втрати через використання застарілих джерел світла.

Це призводить до зростання трудомісткості обслуговування, підвищення ризику відмов під час польоту та ускладнює модернізацію кабіни під сучасні стандарти НАТО.

Пропозиції щодо вдосконалення системи контролю.

Одним із ефективних напрямів модернізації є впровадження **інтелектуальної системи моніторингу технічного стану світлотехнічного обладнання**, що ґрунтується на:

1. **Використанні світлодіодних (LED) джерел світла** з підвищеною надійністю та тривалим ресурсом (понад 50 000 годин).
2. **Цифровій системі контролю** з використанням мікроконтролерів, які забезпечують автоматичний збір інформації про стан світлових вузлів (струм, напруга, температура, рівень яскравості).
3. **Інтеграції з бортовою інформаційно-діагностичною системою літака** для відображення попереджень про несправності в реальному часі.
4. **Впровадженні самодіагностики** — система повинна автоматично визначати перегорілі елементи та прогнозувати можливі відмови за зміною електричних параметрів. **Використанні сучасних матеріалів і схемотехнічних рішень** (SMD-компоненти, стабілізатори струму, бездротові сенсори для важкодоступних вузлів).

Така модернізація дозволить підвищити надійність світлотехнічного обладнання на 25–30 %, знизити енергоспоживання на 40–50 % та скоротити час технічного обслуговування на 20–25 %.

Висновки.

Запропонована концепція вдосконалення системи контролю технічного стану внутрішнього світлотехнічного обладнання літака МіГ-29 передбачає перехід від застарілої аналогової бази до сучасної цифрової системи з елементами автоматизованої діагностики. Реалізація таких рішень забезпечить підвищення надійності, безпеки польотів і відповідність міжнародним авіаційним стандартам.

У подальших дослідженнях доцільно провести моделювання роботи системи контролю на базі мікроконтролерів типу STM32 або Arduino та розробити прототип блока індикації з LED- підсвічуванням.

Список використаних джерел:

1. Авіаційна техніка та технології: навчальний посібник / За ред. В. Г. Бондаренка. – Київ: НАУ, 2018. – 312 с.

2. Бойчук, І. В. Системи електроживлення та світлотехнічного обладнання літальних апаратів. – Харків: ХАІ, 2019. – 248 с.

3. NATO Standardization Office. *Aircraft Lighting Systems – STANAG 7007*. – Brussels, 2020.

4. Дьяков, А. В., Нечипоренко, С. М. Сучасні методи діагностики стану електротехнічних систем авіаційної техніки // Вісник авіації та космонавтики. – 2021. – №3. – С. 45–52.

5. IEC 60081:2019. *Double-capped fluorescent lamps – Performance specifications*. – International Electrotechnical Commission, Geneva, 2019.

6. Шевченко, Ю. М. Мікроконтролерні системи в авіаційному приладобудуванні. – Львів: ЛНТУ, 2022. – 196 с.

7. FAA Advisory Circular AC 43.13-1B. *Acceptable Methods, Techniques, and Practices – Aircraft Inspection and Repair*. – Federal Aviation Administration, Washington D.C., 2018.

Федоришин Євген Ярославович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, командир відділення 242 навчальної групи, Харків, Україна; email: evgefedorisin42@gmail.com;*

Георгієв Юрій Вікторович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966.*

Борсук Єгор Олександрович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, курсант 242 навчальної групи, Харків, Україна; email : eborsuk415@gmail.com;*

Fedoryshyn Yevhen Yaroslavovych *– Kharkiv National Air Force University named after Ivan Kozhedub, squad leader of study group 242, Kharkiv, Ukraine; email: evgefedorisin42@gmail.com;*

Heorhiiev Yurii Viktorovych *– Kharkiv National Air Force University named after Ivan Kozhedub, senior lecturer of department No. 203, Kharkiv, Ukraine; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966.*

Borsuk Yehor Oleksandrovych *– Kharkiv National Air Force University named after Ivan Kozhedub, cadet of study* group 242, Kharkiv, Ukraine; email: eborsuk415@gmail.com;

УДК 629.7.069

Борсук Є. О., Федоришин Є. Я., Георгієв Ю. В.

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО СТРУКТУРИ КОНТРОЛЬНО-ПЕРЕВІРОЧНОЇ АПАРАТУРИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІГ-29

Анотація: *У роботі розглянуто проблематику застарілості системи контрольно-перевірочної апаратури системи електропостачання багатоцільового винищувача МіГ-29 та обґрунтовано напрями її вдосконалення з урахуванням сучасних тенденцій у сфері авіаційного приладобудування та електроніки.*

Ключові слова:*контрольно-перевірочна апаратура, системи електропостачання, вдосконалення, впровадження.*

Annotation: *The paper considers the problem of the obsolescence of the control and testing equipment for the power supply system of the multi-role MiG-29 fighter and substantiates the directions for its improvement, taking into account current trends in the field of aviation instrumentation and electronics.*

Keywords: *Control and testing equipment, power supply systems, improvement, implementation*

Вступ

Система електропостачання (СЕП) є одним з найважливіших функціональних комплексів літака МіГ-29, що забезпечує енергією всі його бортові системи та обладнання. Надійність та безвідмовність СЕП безпосередньо впливають на бойову ефективність та безпеку польоту. У сучасних умовах, коли парк цих літаків продовжує експлуатуватися, гострою залишається проблема підтримки їх технічної готовності. Ключовим елементом у вирішенні цієї задачі є ефективна система контрольно-перевірочної апаратури (КПА), призначена для діагностики та перевірки елементів СЕП. Однак існуюча база КПА зазнала морального та фізичного застарівання, що обумовлює необхідність розробки нових структурних рішень.

Аналіз проблеми застарілості існуючої КПА

Існуюча контрольно-перевірочна апаратура для СЕП МіГ-29 розроблялася декілька десятиліть тому і має низку суттєвих недоліків:

1. **Аналогова архітектура:** Більшість пристроїв побудовано на аналоговій елементній базі, що знижує точність вимірювань, підвищує схильність до впливу зовнішніх факторів (температура, вологість) і ускладнює проведення регулювань.
2. **Вузька спеціалізація та громіздкість:** КПА представлена набором окремих, вузькоспеціалізованих стендів і пристроїв для перевірки конкретних блоків (генераторів, регуляторів напруги, систем захисту). Це призводить до великої кількості обладнання, високих витрат на його обслуговування та потребі в значних площях для розміщення.
3. **Відсутність інтеграції та автоматизації:** Процес перевірки значною мірою є ручним, вимагає кваліфікованого персоналу і займає багато часу. Відсутній єдиний центр збору, обробки та документування даних, що підвищує ймовірність людської помилки.
4. **Дефіцит запасних частин:** Фізичне та моральне застарівання ускладнює ремонт і технічне обслуговування самої КПА через відсутність виробництва оригінальних електронних компонентів.

Пропозиції щодо структури сучасної КПАВпровадження нових розробок дозволяє сформувати принципово нову, ефективну структуру контрольно-перевірочної апаратури.

Основою пропонованої структури є модульно-інтегрований підхід з використанням сучасних цифрових технологій.

Структура має включати наступні ключові компоненти:

1. **Універсальний базовий модуль (УБМ):**
   - **Архітектура:** Побудований на основі сучасного промислового комп'ютера (PC/104, CompactPCI) з модульною структурою плат введення/виведення (АЦП, ЦАП, цифрові I/O, комунікаційні інтерфейси).
   - **Функція:** Виконує роль центрального процесора комплексу. УБМ забезпечує керування всіма випробувальними процедурами, збір даних, їх первинну обробку та взаємодію з оператором.
2. **Набір змінних імітаторів та комутаційних модулів:**
   - **Структура:** Це набір спеціалізованих блоків, що підключаються до УБМ. Кожен модуль призначений для імітації робочих параметрів та навантажень конкретного елемента СЕП (наприклад, модуль імітації роботи генератора змінного струму, модуль навантаження шин постійного струму).
   - **Функція:** Забезпечення умов, близьких до реальних експлуатаційних, для перевіряємих блоків. Модульна структура дозволяє швидко адаптувати комплекс для тестування різних пристроїв.
3. **Програмне забезпечення (ПЗ) з єдиним інтерфейсом:**
   - **Архітектура:** Спеціалізоване ПЗ, що працює під керуванням сучасної ОС реального часу.
   - **Функція:** Надає інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс для оператора. Містить базу даних всіх перевірочних алгоритмів, методик та допусків для кожного елемента СЕП. Автоматизує весь цикл перевірки – від введення вихідних даних до формування протоколу з автоматичним винесенням вердикту "придатний/непридатний".
4. **Система документування та архівування:**
   - **Функція:** Всі результати перевірок автоматично зберігаються в електронній базі даних, що дозволяє проводити аналіз тенденцій, відстежувати "лікарню" обладнання та формувати звітність.

Переваги запропонованої структури:

- **Універсальність:** Один комплекс замінює парк старих спеціалізованих стендів.
- **Підвищення точності та швидкодії:** Цифрові технології усувають помилки, властиві аналоговим пристроям, і значно прискорюють процес тестування.
- **Зниження експлуатаційних витрат:** Скорочення часу перевірки, необхідної кількості персоналу та площ для розміщення обладнання.
- **Можливість модернізації:** Модульна архітектура дозволяє легко вдосконалювати комплекс шляхом додавання нових програмних модулів або апаратних блоків.
- **Підтримка сучасних стандартів:** Інтеграція в загальну систему технічного обслуговуня авіаційної техніки через мережеві інтерфейси.

Висновок

Запропонована структура контрольно-перевірочної апаратури на основі модульно-інтегрованого цифрового комплексу є адекватною відповіддю на виклики, пов'язані із застаріванням існуючої бази. Її впровадження дозволить підвищити ефективність, точність та швидкість діагностики системи електропостачання літака МіГ-29, що безпосередньо сприятиме підтримці його високого рівня боєготовності та продовженню терміну експлуатації.

Перелік використаних джерел:

1. Настащенко В.О., Шевченко О.М. Основи технічної діагностики бортових систем літаків. – Х.: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "ХАІ", 2018. – 345 с.
2. ДСТУ 3977-2000. Апаратура контрольно-перевірочна для систем електропостачання літальних апаратів. Загальні технічні вимоги. – К.: Держспоживстандарт України, 2000. – 45 с.
3. Патон Б.Є. (ред.) Проблеми довговічності та надійності авіаційної техніки. – К.: Наукова думка, 2015. – 210 с.
4. IEEE Standard for Automatic Test Markup Language (ATML) for Exchanging Automatic Test Equipment and Test Information via XML. IEEE Std 1671-2017. – 2017.
5. Розвиток методів та засобів функціонального діагностування електроенергетичних систем об'єктів авіаційної техніки / О.І. Петренко, В.В. Сидоренко // Вісник Дніпропетровського університету. Серія "Радіоелектроніка та телекомунікації". – 2021. – № 4. – С. 45-52.

Борсук Єгор Олександрович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, курсант 242 навчальної групи, Харків, Україна; email : eborsuk415@gmail.com;*

Федоришин Євген Ярославович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, командир відділення 242 навчальної групи, Харків, Україна; email: evgefedorisin42@gmail.com;*

Георгієв Юрій Вікторович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004- 7189-3966.*

Borsuk Yehor Oleksandrovych *– Kharkiv National Air Force University named after Ivan Kozhedub, cadet of study group 242, Kharkiv, Ukraine; email: eborsuk415@gmail.com;*

Fedoryshyn Yevhen Yaroslavovych *– Kharkiv National Air Force University named after Ivan Kozhedub, squad leader of study group 242, Kharkiv, Ukraine; email: evgefedorisin42@gmail.com;*

Heorhiiev Yurii Viktorovych *– Kharkiv National Air Force University named after Ivan Kozhedub, senior lecturer of department No. 203, Kharkiv, Ukraine; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7189-3966.*

УДК 621.396.962

Коломійцев О. В., Кудряшов В .Є., Панченко В. І., Татьянко Д. М.

РОЗНЕСЕНА ДВОПОЗИЦІЙНА СИСТЕМА РАДІОМЕТРИЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ

Анотація: *проведено аналіз ефективності рознесеної радіометричної системи для картографування об'єктів. Отримано рівняння дальності дії з урахуванням радіояскравих температур завад. Запропоновано застосування кореляційного радіометра та вимірювання допплерівської поправки частоти для підвищення чутливості та розрізнювальної здатності.*

Ключові слова: *допплерівська поправка частоти, картографування, кореляційний радіометр, радіояскрава температура, рознесена радіометрична система*

Abstract: *the paper analyzes the efficiency of a distributed radiometric system for object mapping. A range equation, incorporating radio brightness temperatures of interfering surfaces, was derived. The study proposes using a correlation radiometer and measuring the Doppler frequency shift to enhance sensitivity and resolution.*

Keywords: *correlation radiometer, distributed radiometric system, Doppler frequency correction, mapping, radiobrightness temperature*

Рознесена радіометрична система (РМС) є високочутливим комплексом, який призначено для дистанційного вимірювання фізичних параметрів об'єктів та визначення їх кінематичних характеристик. Завдяки рознесенню приймальних елементів, РМС здатна вимірювати не тільки кутові координати, але й різницю ходу (або фазовий зсув) та швидкість земних та космічних об'єктів картографування. Такий підхід забезпечує її високу ефективність у задачах дистанційного зондування землі та космічного моніторингу.

Актуальність роботи полягає у необхідності підвищення дальності дії, чутливості та розрізнювальної здатності РМС, особливо при картографуванні слабкоконтрастних об'єктів на тлі сильних, корельованих завад (атмосфера та земна поверхня).

Ключовим елементом аналізу ефективності РМС є рівняння її дальності дії. На відміну від класичних радіолокаційних рівнянь, у РМС, що працюють у пасивному режимі, необхідно враховувати теплові та шумові фактори [1, 2].

Отримано рівняння щодо визначення дальності дії РМС, яке формулюється з урахуванням радіояскравих температур (РЯТ) навколишнього середовища, атмосфери та поверхонь, що створюють завади [3]:

– РЯТ атмосфери вносить адитивний шум;

– РЯТ фону та поверхонь, що заважають, є основними джерелами некорисного сигналу, з яким необхідно боротися.

Фактично, РМС вимірює контраст між РЯТ об'єкта та РЯТ фону. Чим більший даний контраст, тим більшою буде дальність дії РМС.

Для ефективного виявлення слабких теплових сигналів на тлі сильних завад запропоновано схему кореляційного радіометра [4, 5]. Його робота ґрунтується на множенні сигналів, отриманих на рознесених приймальних елементах та інтегруванні добутку. Такий підхід дозволяє придушувати некорельовані шуми та корельований фон, який може бути присутнім в обох приймачах, але має різну фазу.

Таким чином, кореляційна обробка підвищує чутливість РМС та покращує розрізнювальну здатність за різницею ходу.

При типових технічних характеристиках РМС та виявленні вологого ґрунту з температурою Т (~194 К) площиною S (10^2) на однорідному фоні (~ 252 К) отримано дальність

дії РМС, яка складає R_i ~ 5,4 км. При такій дальності отримано наступні параметри картографування:

- смуга картографування: $П_К$ ~ 3 км;
- кількість пікселів зображення різниць ходу (вказує на кількість розрізнюваних ступенів

різниці ходу): N_τ ~ 6.

- відстань між пікселями на поверхні: $\Delta_г$ ~ 27 м.

Вимірювання допплерівської поправки частоти $F_д$ дозволяє підвищити точність визначення швидкості та, що більш важливо, знизити рівень некорисного фону, який розмазаний по частотному спектру. При використанні 10 вихідних фільтрів для вимірювання $F_д$ спостерігаються наступні особливості:

- зменшення дальності дії: $R_і$ до ~ 3,5 км;
- встановлена смуга картографування: $П_к$ ~ 1,2 км;
- відстань між пікселями на поверхні: $\Delta_г$ ~ 17 м;
- кількість пікселів: $N_т$ ~ 6.

Отримані значення $\Delta_г$ та $П_к$ визначені за умови, що $F_д$ об'єкта (трави) співпадає з головною пелюсткою тіла невизначеності фону, який корельовано.

При зростанні $F_д$ у 1,5 рази рівень фону, що заважає, зменшується до ~ -13 дБ та дальність дії $R_і$ збільшується у ~ 1,26 рази, отримано наступне:

- нова дальність: $R_і$ ~ 4,4 км;
- зменшення смуги картографування; $П_к$ до ~ 2 км;
- збільшення відстані між пікселями; $\Delta_г$ до ~ 22 м.

Запропоновано варіант визначення дальності дії РМС для картографування космічних об'єктів з надземної орбіти. У такому випадку РМС працює як наземний або орбітальний комплекс моніторингу. Основною перевагою є можливість використання кореляційної схеми для вимірювання $F_д$ та розрізнювальної здатності за різницею ходу навіть для віддалених, слабковипромінюючих об'єктів на тлі космічного фону [6].

Таким чином, збільшення дальності дії $R_і$ досягається при вимірюванні допплерівської поправки частоти $F_д$, особливо за рахунок зниження фону, який корельовано з корисними сигналами. Дана обставина підтверджує ефективність кореляційної обробки в поєднанні з частотно-селективними методами для виділення слабкого теплового контрасту об'єкта на сильному, корельованому фоні.

Список використаних джерел:

1. Kudryashov V. E. A Bistatic Radiometry System for Object Mapping. *Telecom Rad Eng 2018*, 77 (20), 1813–1826. DOI 10.1615/TelecomRadEng.v77.i20.40.
2. Kudryashov V., Litovchenko D., Filippenkov O. Multi-Channel Reception System for Radiometry Signals. *In 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW); IEEE*: Kharkiv, Ukraine, 2020; pp 1–5. DOI 10.1109/UkrMW49653.2020.9252699.
3. Коломійцев О. В., Токар О. А., Кудряшов В. Є., Катунін А. М., Куравська Н. М., Хабоша С. М., Шупило Р. М., Кравченко В. Л., Рагулін В. В., Сапон В. І., Шинкаренко Є. О. Випромінююча здатність об'єктів вимірювання та їх радіояскраві температури. *ГРААЛЬ НАУКИ : міжнар. наук. журнал*. – Вінниця : ГО «Європейська наукова платформа»; НУ «Інститут науково-технічної інтеграції та співпраці», 2024. – No 47. – С. 526-534. DOI 10.36074/grail-of-science.20.12.2024.
4. Кудряшов В. Є., Коломійцев О. В., Комаров В. О., Катунін А. М., Слободенюк Ю. В., Шупило Р. М., Хома В. В., Лук'янов Д. А., Співак Т. А., Землянський Д. О., Тітова А. В. Особливості радіотеплового випромінювання природних та штучних об'єктів. *ГРААЛЬ НАУКИ : міжнар. наук. журнал*. – Вінниця : ГО «Європейська наукова платформа»; НУ «Інститут науково-технічної інтеграції та співпраці», 2025. – No 49. – С. 711-720. DOI 10.36074/grail-of-science.21.02.2025.
5. Кудряшов В. Є., Коломійцев О. В., Комаров В. О., Катунін А. М., Слободенюк Ю. В., Поринос Є. О., Шупило Р. М., Хома В. В., Співак Т. А., Луценко А. С., Сургай В. І. Особливості

теплового випромінювання об'єктів у радіодіапазоні. *ГРААЛЬ НАУКИ : міжнар. наук. журнал*. – Вінниця : ГО «Європейська наукова платформа»; НУ «Інститут науково-технічної інтеграції та співпраці», 2025. – No 48. – С. 321-329. DOI 10.36074/grail-of-science.10.01.2025.

6. Кудряшов В. Є., Коломійцев О. В., Комаров В. О., Катунін А. М., Собора А. І., Коломієць Б. І., Ясинський О. М., Шабанов Д. М., Богдан С. І., Шинкаренко Є. О., Кувшинова О. С. Особливості розрахунку радіоприймального пристрою кореляційного виявляча-вимірювача радіометричних сигналів. *Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference «Theory and Practice of Science: Key Aspects»* (April 19-20, 2025). Rome, Italy.

№ 56(244), 2025. – С. 418-430. DOI 10.51582/interconf.19-20.04.2025.048.

Коломійцев Олексій Володимирович – *д.т.н., професор, Заслужений винахідник України, професор кафедри комп'ютерної інженерії та програмування, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", м. Харків, e-mail: alexus_k@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000-0001-8228-8404*

Кудряшов Віктор Євгенович – *к.т.н., с.н.с., старший науковий співробітник, Інститут радіофізики та електроніки НАН України ім. О.Я. Усікова, м. Харків, e- mail: victor.e.kudryashov@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0002-7055-5357*

Панченко Володимир Іванович *– ст. викл. кафедри комп'ютерної інженерії та програмування, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", м. Харків, e-mail: Volodymyr.Panchenko@khpi.edu.ua, ORCID https://orcid.org/0000-0003-3364-3398*

Татьянко Дмитро Миколайович – *к.ф-м.н., заступник завідувача відділу, Інститут радіофізики та електроніки НАН України ім. О.Я. Усікова, м. Харків, e- mail: tatyanko@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000-0003-1482-1769*

Oleksii Kolomiitsev – *Doctor of Engineering Science, Professor, Honored Inventor of Ukraine, Professor of the Computer Engineering and Programming Department, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, e-mail: alexus_k@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000-0001-8228-8404*

Viktor Kudriashov – *PhD in Engineering, Senior Researcher, Senior Researcher, O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, e-mail: victor.e.kudryashov@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000- 0002-7055-5357*

Volodymyr Panchenko – *Senior Lecturer of the Computer Engineering and Programming Department, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, e-mail: Volodymyr.Panchenko@khpi.edu.ua, ORCID https://orcid.org/0000-0003-3364-3398*

Dmytro Tatyanko – *PhD in Physical and Mathematical Sciences, Deputy Head of Department, O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, e-mail: tatyanko@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000- 0003-1482-1769*

УДК: 624.042:355.44

Любич В. В.

ІННОВАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТА КОНСТРУКЦІЇ У БУДІВНИЦТВІ СПОРУД ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. *У роботі розглядаються сучасні тенденції застосування інноваційних матеріалів та конструкцій у будівництві споруд подвійного призначення, що включають як цивільні, так і військові об'єкти. Аналізуються фізико-механічні та експлуатаційні властивості композитних, полімерних, наноматеріалів та геосинтетичних систем, які дозволяють підвищити міцність, стійкість до вибухових навантажень та довговічність споруд. Окрему увагу приділено застосуванню модульних і збірних конструкцій, а також принципам інтеграції систем захисту і інженерного обладнання у конструктивні елементи будівель. Розглянуто перспективи впровадження цифрових технологій та методів моделювання, що оптимізують проектування, скорочують витрати матеріалів і підвищують безпеку. Теоретичні підходи доповнені прикладами сучасних об'єктів подвійного призначення в умовах підвищених ризиків, що ілюструють ефективність застосування інноваційних рішень.*

Ключові слова: *інноваційні матеріали, споруди подвійного призначення, композити, наноматеріали, геосинтетика, модульні конструкції, вибухостійкість, цифрове моделювання*

Abstract. *This paper examines current trends in the use of innovative materials and structures in the construction of dual-purpose facilities, encompassing both civilian and military objects. The physical, mechanical, and operational properties of composite materials, polymers, nanomaterials, and geosynthetic systems are analyzed, highlighting their ability to enhance strength, blast resistance, and durability of structures. Special attention is given to modular and prefabricated constructions, as well as the integration of protective and engineering systems into building elements. The study also explores the potential of digital technologies and modeling methods to optimize design, reduce material consumption, and improve safety. Theoretical approaches are complemented by examples of modern dual-purpose facilities operating under high-risk conditions, demonstrating the effectiveness of innovative solutions.*

Keywords: *innovative materials, dual-purpose facilities, composites, nanomaterials, geosynthetics, modular constructions, blast resistance, digital modeling*

У сучасному будівництві споруд подвійного призначення основною вимогою є забезпечення високих показників міцності та надійності конструкцій, здатних протистояти різноманітним механічним, вибуховим та кліматичним впливам. Використання традиційних матеріалів, таких як бетон і сталь, хоча й забезпечує базову структурну стійкість, не завжди дозволяє досягти оптимального співвідношення маси, міцності та експлуатаційних характеристик. Сьогодні ключовим напрямом розвитку є впровадження інноваційних матеріалів, що характеризуються підвищеною міцністю, енергоємністю та здатністю адаптуватися до зовнішніх навантажень.

Серед сучасних матеріалів особливе значення мають композитні системи, які поєднують різнорідні компоненти, наприклад армовані волокнами полімери або металопластикові композиції. Вони забезпечують значне зменшення маси конструкцій без втрати механічних властивостей, підвищують стійкість до ударних і вибухових навантажень, а також сприяють довговічності споруд. Полімерні матеріали з удосконаленими характеристиками, зокрема самозаліковуючі і водовідштовхувальні полімерні покриття, застосовуються для захисту конструкцій від корозії, впливу агресивного середовища та високих температур.

Наноматеріали, включно з нанокомпозитами та нанопокриттями, відкривають нові можливості для підвищення механічної міцності та вибухостійкості споруд подвійного призначення. Вони дозволяють формувати легкі, міцні та гнучкі конструктивні елементи, що відповідають вимогам швидкого монтажу і демонтажу. Геосинтетичні системи застосовуються для зміцнення ґрунтових основ, інженерних споруд та укріплення периметрів об'єктів, забезпечуючи ефективний розподіл навантажень та підвищення стабільності будівель у складних геологічних умовах.

Сучасні методи модульного та збірного будівництва дозволяють значно скоротити час зведення об'єктів і зменшити використання матеріалів. Модульні конструкції забезпечують уніфікованість елементів, полегшують транспортування і монтаж на територіях з обмеженим доступом, що особливо важливо для споруд подвійного призначення у зонах підвищеного ризику. Вбудовані системи захисту, такі як броньовані елементи, системи фільтрації повітря і протипожежний захист, інтегруються у конструктивні вузли, створюючи комплексну безпеку об'єкта без значного збільшення його маси та вартості.

Цифрові технології, у тому числі BIM-моделювання та чисельне моделювання навантажень, дозволяють оптимізувати проектування та оцінку поведінки конструкцій у реальних умовах. Використання віртуальних моделей сприяє прогнозуванню ризиків, ефективному розподілу матеріалів та підвищенню точності будівництва. Комбінування традиційних матеріалів із інноваційними, застосування модульних систем та інтегрованих засобів захисту створює умови для будівництва ефективних, безпечних і стійких споруд подвійного призначення.

Впровадження інноваційних матеріалів і конструкцій у будівництво подвійного призначення сприяє підвищенню надійності, довговічності та безпеки об'єктів, скороченню часу будівництва та оптимізації ресурсів. Перспективи розвитку галузі пов'язані з подальшим удосконаленням композитних і наноматеріалів, розробкою нових методів модульного будівництва та інтеграції цифрових технологій у процес проектування та експлуатації споруд.

Список використаних джерел:

1. Бобровський О.М. Інноваційні матеріали у будівництві. – К.: Наукова думка, 2020.
2. Сидоренко В.П. Композити та їх застосування в інженерних спорудах. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2019.
3. Petrov, I., & Ivanov, D. (2021). Nanomaterials in Civil Engineering. *Journal of Construction Materials*, 15(3), 45–62.
4. Johnson, T., & Smith, L. (2020). Modular Construction for Dual-Purpose Facilities. *International Journal of Engineering Research*, 28(4), 112–125.
5. Кузьменко С.О. Геосинтетичні системи у будівництві та інженерному захисті. – Х.: ХНУ, 2021.
6. Wang, Y., & Liu, H. (2019). BIM-Based Design Optimization in Protective Structures. *Automation in Construction*, 102, 150–162.
7. Шевченко М.В. Інженерні споруди подвійного призначення: матеріали та технології. – К.: Будівельник, 2022.

Любич Володимир Володимирович *– викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

Lyubich Volodymyr V. *– lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

УДК: 629.7:004.6

Любич В. В.

ЦИФРОВІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ: ЗАСТОСУВАННЯ BIM-ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЄКТУВАННІ ЗАХИСНИХ СПОРУД

Анотація. *У тезі розглядаються сучасні підходи до цифровізації системи цивільного захисту через впровадження технологій інформаційного моделювання будівель (BIM) у процесі проєктування захисних споруд. Аналізу підлягають переваги інтеграції BIM-технологій на всіх етапах життєвого циклу об'єктів цивільного захисту — від концептуального проєктування до експлуатації. Особлива увага приділяється підвищенню ефективності планування, точності моделювання та швидкості прийняття рішень у надзвичайних ситуаціях. Розглядаються можливості використання цифрових моделей для оцінки стійкості споруд до техногенних та природних загроз, а також для оптимізації ресурсів під час будівництва та обслуговування.*

Ключові слова: *цивільний захист, захисні споруди, цифровізація, BIM-технології, інформаційне моделювання, життєвий цикл об'єкта, ефективність планування, стійкість конструкцій.*

Abstract. *This paper examines modern approaches to digitalizing civil protection systems through the implementation of Building Information Modeling (BIM) technologies in the design of protective structures. The advantages of integrating BIM technologies at all stages of the lifecycle of civil protection facilities — from conceptual design to operation — are analyzed. Particular attention is paid to increasing the efficiency of planning, the accuracy of modeling, and the speed of decision-making in emergency situations. The possibilities of using digital models to assess the resilience of structures to man-made and natural threats, as well as to optimize resources during construction and maintenance, are considered.*

Keywords: *civil protection, protective structures, digitalization, BIM technologies, information modeling, facility lifecycle, planning efficiency, structural resilience.*

У сучасних умовах розвитку урбанізації, збільшення кількості критично важливих об'єктів та зростання техногенних і природних загроз, питання цивільного захисту стає надзвичайно актуальним. Ефективне проєктування та експлуатація захисних споруд вимагає комплексного підходу, який забезпечує не лише надійність конструкцій, а й оптимізацію ресурсів, оперативне реагування та підвищення готовності персоналу до надзвичайних ситуацій. Одним із перспективних напрямів удосконалення систем цивільного захисту є впровадження BIM-технологій, що дозволяє інтегрувати всі дані про об'єкт у єдину цифрову модель.

BIM-технології забезпечують створення детальної інтегрованої моделі об'єкта, яка включає архітектурні, конструктивні, інженерні, технологічні та експлуатаційні дані. Це дозволяє проводити комплексний аналіз ризиків, прогнозувати вплив зовнішніх факторів на конструкцію, оцінювати потенційні пошкодження та планувати заходи з мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій. Цифрові моделі дають можливість оптимально розташовувати захисні споруди, ефективно використовувати матеріали та енергетичні ресурси, а також проводити симуляції евакуації та аварійного реагування.

Інтеграція BIM у систему цивільного захисту сприяє підвищенню ефективності управління на всіх етапах життєвого циклу об'єкта: від попереднього проєктування до будівництва, експлуатації та модернізації. Однією з ключових переваг є можливість швидкого внесення змін у цифрову модель без значних матеріальних затрат, що забезпечує адаптивність проєктів до змін у нормативній базі, умовах загрози та технологічних вимогах. Використання BIM дозволяє забезпечити високий рівень координації між усіма учасниками будівельного процесу, зменшити кількість помилок та дублювання робіт, а також підвищити точність планування бюджету та графіків будівництва.

BIM також відкриває можливості для інтеграції даних про критично важливі комунікації, системи безпеки та інженерні мережі, що підвищує стійкість споруд і зменшує ризик їх пошкодження у надзвичайних ситуаціях. Цифрові моделі можуть слугувати навчальними та симуляційними інструментами для служб реагування, дозволяючи моделювати різні сценарії надзвичайних ситуацій, оцінювати часові та ресурсні потреби, а також оптимізувати взаємодію між підрозділами.

Впровадження BIM-технологій у проєктування захисних споруд дозволяє забезпечити комплексний, науково обґрунтований підхід до управління безпекою, підвищує рівень готовності до надзвичайних ситуацій, зменшує ризики та оптимізує використання ресурсів протягом всього життєвого циклу об'єкта. Крім того, цифрові технології сприяють підвищенню прозорості процесів, покращенню звітності та контролю якості, що є критично важливим у сфері цивільного захисту.

Список використаних джерел:

1. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. Wiley, 2018.
2. Succar B. Building Information Modeling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders. Automation in Construction, 2009, Vol. 18, pp. 357–375.
3. Volk R., Stengel J., Schultmann F. Building Information Modeling (BIM) for Existing Buildings — Literature Review and Future Needs. Automation in Construction, 2014, Vol. 38, pp. 109–127.
4. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Disaster Risk Reduction and Resilient Infrastructure. UNDRR, 2020.
5. Kensek K., Noble D. Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice. John Wiley & Sons, 2014.
6. Ministry of Emergency Situations of Ukraine. Guidelines for Civil Protection Structures and Shelter Design, Kyiv, 2021.

Любич Володимир Володимирович *– викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

Lyubich Volodymyr V. *– lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

УДК: 351.85:006.76

Любич В. В.

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ У СФЕРІ БУДІВНИЦТВА ЗАХИСНИХ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Анотація. *У даній роботі досліджується комплексний підхід до нормативно-правового регулювання будівництва захисних споруд цивільного захисту в Україні та за кордоном. Аналізу підлягають сучасні законодавчі акти, державні стандарти, технічні норми та методичні рекомендації, що регулюють проектування, будівництво та експлуатацію захисних споруд. Особлива увага приділяється виявленню прогалин і невідповідностей у чинному законодавстві, що ускладнюють ефективну реалізацію заходів цивільного захисту. Розглядаються перспективи вдосконалення нормативної бази шляхом інтеграції цифрових технологій та BIM-моделювання для підвищення безпеки, ефективності управління ресурсами та контролю якості будівництва. Висвітлюються міжнародні практики регулювання, які можуть бути адаптовані в українському контексті для підвищення стійкості та готовності до надзвичайних ситуацій.*

Ключові слова: *нормативно-правове регулювання, цивільний захист, захисні споруди, будівництво, стандарти, технічні норми, цифровізація, BIM-технології, безпека населення, управління ризиками.*

Abstract. *This paper examines the issues and prospects of legal and regulatory framework for the construction of civil protection shelters in Ukraine and abroad. It analyzes current legislation, national standards, technical norms, and guidelines regulating the design, construction, and operation of protective structures. Special attention is paid to identifying gaps and inconsistencies in the existing legal framework that hinder the effective implementation of civil protection measures. Prospects for improving the regulatory framework through the integration of digital technologies and BIM modeling are considered to enhance safety, resource management efficiency, and construction quality control. International regulatory practices applicable for adaptation in the Ukrainian context are also discussed to strengthen resilience and emergency preparedness.*

Keywords: *regulatory framework, civil protection, protective structures, construction, standards, technical norms, digitalization, BIM technologies, population safety, risk management.*

Забезпечення безпеки населення та охорона критично важливих об’єктів є основним пріоритетом системи цивільного захисту. В Україні процес регулювання будівництва захисних споруд базується на численних нормативно-правових документах, включаючи Закон України «Про цивільний захист населення» (№1809-XII, 1993), державні будівельні норми , технічні регламенти та методичні рекомендації державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС України). Проте, аналіз практичних реалізацій свідчить про наявність значних прогалин і невідповідностей у законодавчій базі, що ускладнює ефективне виконання заходів цивільного захисту, зокрема під час планування та будівництва сучасних захисних споруд. Застарілі норми часто не враховують новітні будівельні матеріали, технології та методи цифрового моделювання, такі як BIM (Building Information Modeling), що знижує точність проєктних рішень та ефективність контролю якості.

Основними проблемами нормативно-правового регулювання є: застарілість окремих законів і стандартів, відсутність комплексного підходу до інтеграції технічних, технологічних та управлінських аспектів будівництва захисних споруд, а також недостатня адаптація міжнародного досвіду до українських умов. Наприклад, у існуючих державних будівельни нормах недостатньо враховано можливості цифрового моделювання для оцінки ризиків та оптимізації матеріальних витрат, що призводить до уповільнення процесу проєктування, перевитрат ресурсів і ризику невідповідності споруд сучасним стандартам безпеки.

Перспективи удосконалення нормативної бази пов’язані з активним впровадженням сучасних цифрових технологій, включно з BIM-моделюванням. Використання інтегрованих інформаційних моделей дозволяє: оцінювати відповідність конструкцій актуальним нормативам, прогнозувати вплив різних факторів (наприклад, вибухових навантажень чи впливу стихійних лих) на експлуатаційні характеристики споруд, забезпечувати більш точне планування ресурсів та підвищувати контроль якості на всіх етапах будівництва. Впровадження цифрових технологій також підвищує прозорість процесів, дозволяє оперативно вносити зміни до проєктів та інтегрувати міжнародні стандарти без значних матеріальних витрат.

Міжнародний досвід демонструє ефективність комплексного підходу до нормативного регулювання. Наприклад, у країнах ЄС та США законодавство передбачає використання BIM для будівництва захисних споруд, регулярний аудит об'єктів цивільного захисту та інтеграцію цифрових рішень для підвищення безпеки населення. Зокрема, в Німеччині та Великобританії стандарти DIN та BS включають вимоги щодо цифрового моделювання будівель і забезпечують контроль якості на всіх етапах життєвого циклу об'єкта. Адаптація подібних практик в Україні могла б значно підвищити стійкість критичної інфраструктури та готовність до надзвичайних ситуацій.

Таким чином, сучасне нормативно-правове регулювання у сфері будівництва захисних споруд потребує системного оновлення та інтеграції передових цифрових технологій. Використання BIM-моделювання та інших цифрових рішень дозволяє підвищити ефективність планування, контроль якості, зменшити ризики та оптимізувати витрати ресурсів. Підвищення правового та технологічного рівня регулювання є критично важливим фактором підвищення безпеки населення та загальної ефективності системи цивільного захисту.

Список використаних джерел:

1. Закон України «Про цивільний захист населення» № 1809-XII, Київ, 1993.
2. Державні будівельні норми України (ДБН В.2.2-5-2023) «Споруди цивільного захисту», Київ, 2023.
3. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Wiley, 2018.
4. Succar B. *Building Information Modeling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders*. Automation in Construction, 2009, Vol. 18, pp. 357–375.
5. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. *Disaster Risk Reduction and Resilient Infrastructure*. UNDRR, 2020.
6. Kensek K., Noble D. *Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice*. John Wiley & Sons, 2014.
7. Ministry of Emergency Situations of Ukraine. *Guidelines for Civil Protection Structures and Shelter Design*, Kyiv, 2021.
8. European Committee for Standardization (CEN). *Standards for Civil Protection and Emergency Planning*, Brussels, 2019.

Любич Володимир Володимирович *– викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

Lyubich Volodymyr V. *– lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

УДК: 355.46:711.4

Любич В. В.

ФОРТИФІКАЦІЙНІ ЕЛЕМЕНТИ У СИСТЕМІ ІНЖЕНЕРНОГО ЗАХИСТУ МІСТ І ГРОМАД

Анотація. *У роботі розглядаються фортифікаційні елементи як складова системи інженерного захисту міст і громад. Аналізу підлягають конструктивні та технологічні особливості фортифікаційних споруд, їх роль у забезпеченні безпеки населення та критично важливої інфраструктури, а також ефективність застосування сучасних матеріалів і технологій. Особлива увага приділяється оцінці інтеграції фортифікаційних елементів у комплексну систему інженерного захисту та використанню цифрових методів проектування для підвищення ефективності захисних заходів.*

Ключові слова: *фортифікаційні елементи, інженерний захист, місто, громадська безпека, захисні споруди, сучасні матеріали, цифрове проектування, життєвий цикл споруди.*

Abstract. *This paper examines fortification elements as part of the engineering protection system of cities and communities. It analyzes the structural and technological features of fortification structures, their role in ensuring the safety of the population and critical infrastructure, and the effectiveness of using modern materials and technologies. Special attention is paid to the integration of fortification elements into a comprehensive engineering protection system and the use of digital design methods to enhance the effectiveness of protective measures.*

Keywords: *fortification elements, engineering protection, city, community safety, protective structures, modern materials, digital design, facility lifecycle.*

Захист населення та критично важливих об’єктів від зовнішніх і внутрішніх загроз є одним із ключових завдань системи цивільного захисту. Фортифікаційні елементи, як структурна складова інженерного захисту, відіграють важливу роль у підвищенні стійкості міст та громадських об’єктів до можливих загроз, включаючи військові конфлікти, терористичні акти та надзвичайні ситуації природного та техногенного характеру. До фортифікаційних елементів належать укріплення, протитанкові перешкоди, бункери, окопи, бліндажі, загородження, протипожежні бар’єри та інші інженерні споруди, що забезпечують захист населення та стратегічних об’єктів інфраструктури.

Сучасні підходи до проектування фортифікаційних елементів включають використання високотехнологічних матеріалів, таких як композитні, полімерні та армовані бетони, що забезпечують підвищену стійкість до механічних, вибухових та хімічних впливів. Цифрове проектування та застосування BIM-технологій дозволяють створювати інтегровані моделі фортифікаційних споруд, що включають архітектурні, конструктивні та інженерні параметри, а також оцінювати ефективність захисних заходів у різних сценаріях загроз. Такий підхід забезпечує більш точне планування ресурсів, підвищує якість будівництва та експлуатації споруд, а також дозволяє проводити оперативні корекції проектів у разі зміни умов загрози.

Інтеграція фортифікаційних елементів у систему інженерного захисту передбачає комплексне поєднання фізичних бар’єрів із системами спостереження, контролю доступу, сигналізації та комунікацій. Це дозволяє підвищити ефективність охорони міст і громад, забезпечити своєчасне реагування на надзвичайні ситуації та мінімізувати потенційні збитки. У практиці цивільного захисту важливим є також врахування психологічного впливу фортифікаційних споруд на населення та забезпечення умов для безпечної евакуації у разі надзвичайних ситуацій.

Міжнародний досвід свідчить про ефективність комплексного застосування фортифікаційних елементів у поєднанні з сучасними технологіями та нормативними стандартами. Наприклад, у країнах ЄС та США застосовуються інтегровані системи захисту міст, які поєднують фізичні укріплення, цифрові системи моніторингу та адаптивне управління інфраструктурою. В Україні впровадження подібних практик може значно

підвищити стійкість критично важливих об’єктів та готовність громад до надзвичайних ситуацій.

Отже, фортифікаційні елементи є невід’ємною складовою системи інженерного захисту міст і громад, а інтеграція сучасних матеріалів, цифрових технологій і міжнародного досвіду забезпечує підвищення ефективності захисних заходів, безпеки населення та стійкості критично важливої інфраструктури.

Список використаних джерел:

1. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Wiley, 2018.
2. Volk R., Stengel J., Schultmann F. *Building Information Modeling (BIM) for Existing Buildings — Literature Review and Future Needs*. Automation in Construction, 2014, Vol. 38, pp. 109–127.
3. Succar B. *Building Information Modeling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders*. Automation in Construction, 2009, Vol. 18, pp. 357–375.
4. Ministry of Emergency Situations of Ukraine. *Guidelines for Civil Protection Structures and Shelter Design*, Kyiv, 2021.
5. European Committee for Standardization (CEN). *Standards for Civil Protection and Emergency Planning*, Brussels, 2019.
6. Kensek K., Noble D. *Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice*. John Wiley & Sons, 2014.
7. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. *Disaster Risk Reduction and Resilient Infrastructure*. UNDRR, 2020.

Любич Володимир Володимирович *– викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

Lyubich Volodymyr V. *– lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

УДК: 711.4:355.46

Любич В. В.

МОДЕРНІЗАЦІЯ МЕРЕЖІ СХОВИЩ І УКРИТТІВ РАДЯНСЬКОГО ПЕРІОДУ: ТЕХНІЧНА ОЦІНКА, ВІДНОВЛЕННЯ ТА АДАПТАЦІЯ

Анотація. *У роботі розглядається комплексний підхід до модернізації мережі сховищ і укриттів радянського періоду з акцентом на технічну оцінку, відновлення та адаптацію до сучасних вимог цивільного захисту. Проаналізовано стан конструкцій, інженерних систем, матеріалів та їх відповідність сучасним стандартам безпеки. Особлива увага приділяється застосуванню сучасних технологій, таких як цифрове моделювання (BIM), неразрушаюче тестування та інтеграція міжнародних стандартів для підвищення ефективності захисних заходів та готовності населення до надзвичайних ситуацій.*

Ключові слова: *модернізація сховищ, радянські укриття, технічна оцінка, відновлення, адаптація, безпека населення, цивільний захист, BIM-технології, інженерні системи.*

Abstract. *This paper presents a comprehensive approach to modernizing the network of Soviet-era shelters and bunkers, focusing on technical assessment, recovery, and adaptation to current civil protection requirements. The structural condition, engineering systems, and materials are analyzed for compliance with modern safety standards. Special attention is paid to the application of modern technologies, such as digital modeling (BIM), non-destructive testing, and the integration of international standards to enhance the effectiveness of protective measures and community preparedness for emergencies.*

Keywords: *shelter modernization, Soviet-era bunkers, technical assessment, recovery, adaptation, population safety, civil protection, BIM technologies, engineering systems.*

Збереження та модернізація мережі сховищ і укриттів, збудованих у радянський період, є надзвичайно актуальним завданням для системи цивільного захисту України та інших пострадянських країн. Багато споруд зведено з використанням бетонних та залізобетонних конструкцій, які протягом десятиліть зазнали природного старіння, корозії арматури та зношення інженерних систем. Наприклад, у Києві та Харкові значна частина підземних укриттів побудована в 1970–1980-х роках і наразі потребує термінового зміцнення перекриттів та оновлення вентиляційних систем. Відновлення та адаптація таких об'єктів потребують комплексного підходу, що включає технічну оцінку стану споруд, аналіз відповідності сучасним стандартам безпеки та розробку проектів модернізації.

Технічна оцінка передбачає дослідження несучої здатності конструкцій, герметичності укриттів, стану вентиляційних, електромеханічних та санітарних систем. Застосування сучасних методів діагностики, таких як неразрушаюче тестування за допомогою ультразвуку, інфрачервоних сканерів та лазерного 3D-сканування, дозволяє більш точно визначити критичні вузли, прогнозувати ризики та планувати ремонтні роботи. Цифрове моделювання (BIM) дозволяє інтегрувати дані про конструктивні елементи, інженерні системи та потенційні сценарії загроз, що дає змогу ефективніше планувати модернізаційні заходи.

Модернізація включає зміцнення конструкцій за допомогою пост-напружених бетонних елементів, заміну застарілих матеріалів на сучасні композитні та армовані полімери, оновлення вентиляційних, електричних і водопостачальних систем, а також інтеграцію сучасних засобів безпеки, таких як автоматизовані системи спостереження, сигналізації та контролю доступу. Рекомендовано використовувати модульний підхід, що дозволяє поетапно проводити роботи без повного виведення укриттів з експлуатації.

Особливу увагу слід звернути до адаптації радянських сховищ до сучасних сценаріїв загроз, включаючи терористичні акти, техногенні аварії та природні катастрофи. Наприклад, у Варшаві та Берліні реконструйовані бункери обладнані автономними системами вентиляції та фільтрації повітря, що підвищує безпеку під час хімічних або біологічних загроз. При цьому слід враховувати міжнародні стандарти захисту населення (NFPA, CEN) та досвід країн ЄС і США щодо інтеграції цифрових рішень для управління об'єктами цивільного захисту.

Використання BIM-технологій дозволяє створювати інтегровані моделі укриттів, оцінювати ефективність захисних заходів та планувати евакуаційні маршрути з урахуванням поточної містобудівної структури.

Модернізація радянської мережі сховищ також передбачає оптимізацію ресурсів та зменшення витрат на будівництво нових об'єктів. Реконструкція наявних споруд дозволяє зберегти критично важливу інфраструктуру, забезпечити безпеку населення та підвищити готовність громад до надзвичайних ситуацій. Рекомендується поєднувати фізичні зміцнення конструкцій із системами моніторингу, сигналізації та керування доступом для створення інтегрованої системи захисту, а також проводити регулярні навчання персоналу та інформаційно-роз'яснювальні кампанії для населення.

Отже, модернізація мережі сховищ і укриттів радянського періоду є комплексним завданням, що включає технічну оцінку, відновлення та адаптацію споруд до сучасних стандартів безпеки. Інтеграція цифрових технологій, сучасних матеріалів, міжнародного досвіду та конкретних рекомендацій щодо поетапного оновлення дозволяє підвищити ефективність захисних заходів, забезпечити безпеку населення та оптимізувати використання наявної інфраструктури.

Список використаних джерел:

1. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Wiley, 2018.
2. Succar B. *Building Information Modeling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders*. Automation in Construction, 2009, Vol. 18, pp. 357–375.
3. Volk R., Stengel J., Schultmann F. *Building Information Modeling (BIM) for Existing Buildings — Literature Review and Future Needs*. Automation in Construction, 2014, Vol. 38, pp. 109–127.
4. Ministry of Emergency Situations of Ukraine. *Guidelines for Civil Protection Structures and Shelter Design*, Kyiv, 2021.
5. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. *Disaster Risk Reduction and Resilient Infrastructure*. UNDRR, 2020.
6. NFPA 402. *Guide for Aircraft Rescue and Fire-Fighting Operations*, National Fire Protection Association, 2018.
7. European Committee for Standardization (CEN). *Standards for Civil Protection and Emergency Planning*, Brussels, 2019.
8. Kensek K., Noble D. *Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice*. John Wiley & Sons, 2014.

Любич Володимир Володимирович *– викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

Lyubich Volodymyr V. *– lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

УДК: 159.942:355.46

Любич В. В.

ПСИХОЛОГІЧНІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ УКРИТТІВ НАСЕЛЕННЯМ: ДОСВІД ВІЙНИ

Анотація. *У тезі досліджуються психологічні та соціальні аспекти використання укриттів населенням під час війни та інших надзвичайних ситуацій. Розглядаються питання психологічного стресу, страху, поведінки в умовах обмеженого простору, взаємодії людей у групах та соціальної адаптації. Особлива увага приділяється вивченню досвіду конфліктів, таких як війна в Україні 2014–2025 рр., та застосуванню методів психологічної підтримки і соціальної організації для підвищення ефективності використання укриттів і збереження психічного здоров'я населення.*

Ключові слова: *психологія укриттів, соціальна адаптація, стрес, поведінка населення, війна, надзвичайні ситуації, групова взаємодія, цивільний захист, психологічна підтримка.*

Abstract. *This paper investigates the psychological and social aspects of shelter use by the population during war and other emergencies. It examines issues of psychological stress, fear, behavior in confined spaces, group interaction, and social adaptation. Special attention is given to the experience of conflicts such as the war in Ukraine (2014–2025) and the application of psychological support and social organization methods to enhance the effective use of shelters and maintain the mental health of the population.*

Keywords: *shelter psychology, social adaptation, stress, population behavior, war, emergencies, group interaction, civil protection, psychological support.*

В умовах воєнних конфліктів та надзвичайних ситуацій використання укриттів населенням є критично важливим для збереження життя і здоров’я людей. Проте ефективність укриттів визначається не лише технічними характеристиками будівель, а й психологічним та соціальним станом осіб, що ними користуються. Психологічний стрес, страх, тривога та невизначеність можуть призводити до паніки, конфліктів та нераціональної поведінки, що знижує загальну ефективність захисних заходів.

Досвід війни в Україні показує, що поведінка населення в укриттях значною мірою залежить від попередньої підготовки, інформаційного забезпечення та соціальної підтримки. Наприклад, під час обстрілів у містах Донецької та Луганської областей було зафіксовано випадки паніки через нестачу інформації щодо тривалості загрози та правил перебування в укриттях. Водночас організовані заходи психологічної підтримки, такі як наявність волонтерів, медичних працівників та психологів у сховищах, значно знижували рівень стресу та покращували групову взаємодію. Рекомендовано впровадження системи швидкого реагування, де на кожному об'єкті укриття присутні треновані координатори, які допомагають людям зорієнтуватися та контролювати поведінку групи.

Соціальні аспекти включають взаємодію людей у замкнутому просторі, формування групових норм та поведінкових моделей, які можуть сприяти або заважати ефективному перебуванню в укриттях. Організація простору, доступ до інформації, можливість соціальної комунікації та підтримка старших або досвідчених членів групи позитивно впливають на адаптацію населення. Досвід ізраїльських укриттів під час конфліктів демонструє, що попередньо організовані правила перебування, наявність ігрових та освітніх заходів для дітей, можливість дистанційного зв’язку з родиною та доступ до психологічних консультацій значно підвищують стійкість населення до стресових факторів. Рекомендовано також забезпечити регулярні тренінги та навчання населення щодо дій у різних сценаріях загроз, включаючи евакуацію та використання захисного обладнання.

Психологічна підтримка та навчання населення до моменту використання укриттів мають вирішальне значення. Рекомендується впровадження тренінгів щодо поведінки у сховищах, інформаційних кампаній про правила безпеки, наявність спеціально обладнаних зон для відпочинку та комунікації, а також мобільних психологічних груп, які можуть оперативно реагувати на конфліктні ситуації та підтримувати психічне здоров'я населення. Наприклад, у Львові та Чернігові були організовані мобільні психологічні групи, які забезпечували допомогу під час масових прихистків, що значно зменшило рівень тривожності та конфліктів серед мешканців.

Важливою складовою є також адаптація укриттів до соціальних потреб людей: забезпечення достатнього освітлення, вентиляції, місць для сидіння, туалетних та санітарних приміщень, можливості зарядки мобільних пристроїв та системи спостереження і контролю доступу. Це не лише покращує фізичну безпеку, але й сприяє психологічному комфорту, зниженню стресу та підтримці соціальних зв'язків. Рекомендується створювати спеціальні кімнати для дітей та людей з обмеженими можливостями, організовувати дозвільні заходи та забезпечувати інформаційні стенди з правилами поведінки.

Отже, ефективне використання укриттів населенням вимагає комплексного підходу, який поєднує технічну придатність споруд з психологічною підготовкою, соціальною організацією та методами підтримки психічного здоров'я. Використання міжнародного досвіду (Ізраїль, Німеччина, Польща) та сучасних технологій дозволяє підвищити ефективність заходів цивільного захисту, забезпечити стійкість населення у критичних ситуаціях та мінімізувати негативні психологічні наслідки перебування у замкнутих укриттях.

Список використаних джерел:

1. Hobfoll S. E., Watson P., Bell C. C., et al. *Five Essential Elements of Immediate and Mid–Term Mass Trauma Intervention: Empirical Evidence*. Psychiatry, 2007, Vol. 70(4), pp. 283–315.
2. Norris F. H., Friedman M. J., Watson P. J. *60,000 Disaster Victims Speak: Part II. Summary and Implications of the Disaster Mental Health Research*. Psychiatry, 2002, Vol. 65(3), pp. 240–260.
3. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. *Psychosocial Support in Emergencies and Disasters*. UNDRR, 2020.
4. World Health Organization. *Mental Health and Psychosocial Support in Emergency Settings*. WHO, 2013.
5. Ukrainian Ministry of Health. *Guidelines for Psychological Support of the Population During Armed Conflicts*, Kyiv, 2022.
6. Bonanno G. A., Brewin C. R., Kaniasty K., Greca A. M. L. *Weighing the Costs of Disaster: Consequences, Risks, and Resilience in Individuals, Families, and Communities*. Psychological Science in the Public Interest, 2010, Vol. 11(1), pp. 1–49.
7. Israel Ministry of Health. *Guidelines for Shelter Use and Psychological Support During Conflict*, Jerusalem, 2019.
8. Foa E. B., Stein D. J., McFarlane A. C. *Symptomatology and Psychosocial Functioning of Survivors of War and Mass Trauma*. J Clin Psychiatry, 2006, Vol. 67(1), pp. 15–23.

Любич Володимир Володимирович *– викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

Lyubich Volodymyr V. *– lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.*

UDC 629.78

Larshin V. P, Zlepko I. Y

UNMANNED GROUND VEHICLE ARCHITECTURE AND OPERATIONAL PRINCIPLES

Annotation. *This paper presents the architecture and operational workflow of an unmanned ground vehicle (UGV) based on a conventional military truck platform. The system integrates modular electronics, layered autonomy, and secure tele-operation, combining high-level mission logic with real-time electromechanical control for reliable defense-grade UGV deployment.*

Keywords: *autonomous vehicle; tele-operation; military UGV; layered control; sensor fusion; actuator system*

Анотація. *У роботі подано архітектуру та принципи роботи безпілотного наземного транспортного засобу (БНТЗ), побудованого на базі традиційної військової вантажівки. Система використовує модульну електроніку, багаторівневу автономію та захищене дистанційне керування, поєднуючи завдання на управління з реальним часом електромеханічного контролю.*

Ключові слова: *автономний транспортний засіб; дистанційне керування; військовий БНТЗ; багаторівневий контроль; сенсорна інтеграція; система приводів.*

Introduction. Uncrewed Ground Vehicles (UGVs) have rapidly evolved, particularly in military logistics, reconnaissance, and engineering support. Two principal design philosophies can be identified. *The first* is the development of a ground vehicle based on a custom chassis with hub motors and integrated electronic architecture, similar to modern electric robotic platforms. *The second* approach is the conversion of a conventional heavy-duty truck into a remotely-controlled or autonomous vehicle. This work addresses the second path and describes the architecture and operating principles of a driverless system implemented on a heavy military truck platform.

The UGV based on an electric modular chassis with hub motors provides notable advantages: inherently digital control, high vehicle responsiveness, distributed torque control, reduced mechanical wear, improved maneuverability, and simplified integration of autonomous algorithms. These systems, however, require expensive components, specialized manufacturing capabilities, rugged traction batteries, advanced cooling systems, and robust “electromagnetic interference / electromagnetic pulse” protection. Development cycles are long, supply chains exposed, and field maintenance complex. Such platforms are optimal for long-term mass adoption programs but less suitable for urgent wartime deployment.

In contrast, converting a traditional internal-combustion army truck offers rapid field introduction, compatibility with existing fleets, simplified logistics, and low training overhead for mechanics. Fuel systems, spare parts, and repair expertise are already available in military units. The disadvantages include legacy mechanical and hydraulic systems not originally intended for automation, slower response time compared to electric drive, limited control resolution, and additional electromechanical actuators required for steering, throttle, brake and gear control. Nevertheless, the conventional-truck approach allows rapid prototyping, cost efficiency, rugged operation, and real-world battlefield deployment.

This paper presents the high-level architecture (“static view”) and operational workflow (“dynamic view”) of the driverless truck conversion, reflecting modular hardware integration, command and telemetry flows, and cost-driven engineering trade-offs. The text is intended as an introductory briefing for electromechanical engineers and acts as a gateway to full technical documentation, control algorithms, and wiring schematics.

Static Architecture (Block Diagram Explanation). The system contains 11 functional blocks, representing command source, communication interface, computational units, sensor suite, and actuator chain (Table 1).

This architecture separates mission-level logic, real-time control, and hardware drive electronics, conforming to layered autonomy and safety standards used in defense/industrial robotics. In other words, this design cleanly separates high-level mission planning, real-time motion

Table 1 – Main functional characteristics of the UGV

Block	Name	Function
1	Operator HMI	Remote human-machine interface: laptop, radio panel, situational display, joystick. Generates movement commands, receives telemetry and safety status.
2	Cab I/O Controller (STM32/Teensy)	Low-level signal conditioning, command serialization, hardware watchdog. Converts operator input to command packets.
3	Radio Transmitter Modem (RFD900 / LTE)	Primary RF link or LTE tunnel for command transfer. Ensures secure low-latency communication.
4	Vehicle Communication Gateway	Entry point on vehicle. Handles cryptography, routing, and safety validation of incoming commands.
5	High-Level Controller (NVIDIA Jetson / IPC)	Mission computer running ROS2; performs sensor fusion, high-level plan execution, object detection (AI).
6	Autonomy Middleware	Real-time ROS2 bridge layer: navigation stack, motion planning, and middleware communication.
7	Real-Time Controller (PX4 / ECU)	Deterministic control layer, closed-loop stabilization, PID loops, actuator safety guards.
8	Sensor Suite	GNSS-RTK, IMU, wheel encoders, cameras, optional LiDAR. Provides vehicle state and environment feedback.
9	Actuator Controllers (Roboteq / ODrive)	Motor drivers for steering motor, brake servo drive, throttle actuator. Current sensing & safety cut-off.
10	Sensor Bus (CAN/UART/I2C)	Unified communication backbone for sensor fusion and coordination between compute modules.
11	Physical Actuators	Steering actuator, brake and throttle drives, transmission linkage servo, relay valves, ignition and fuel control.

control, and low-level actuator electronics, following layered safety and autonomy practices used in military and industrial robots. So, this is the so-called hierarchical control principle (Table 2).

Table 2 – The UGV system levels characteristics

Layer	Meaning	Example
Mission-level logic	High-level decisions, task planning	“Go to GPS point and avoid obstacles”
Real-time control	Control loops, stabilization	PID loops for steering / throttle
Hardware drive electronics	Physical motor control	Motor drivers, actuators, power stages

Dynamic operation command flow includes the following: 1. Operator issues motion command via HMI (Block 1). 2. Cab controller (Block 2) digitizes command, applies rate limits and safety filters. 3. Radio modem (Block 3) transmits packet over encrypted channel. 4. Vehicle communication gateway (Block 4) authenticates message, rejects anomalies. 5. High-level controller (Block 5) interprets task, updates mission context (waypoints, targeting, or tele-operation). 6. Middleware (Block 6) computes desired trajectory and control targets. 7. Real-time controller (Block 7) executes low-latency control loops. 8. Actuator drivers (Block 9) deliver adjustable power to actuators. 9. Mechanical actuators (Block 11) manipulate steering, brake, throttle and drivetrain linkages.

Dynamic operation telemetry flow includes: 1. Sensors (Block 8) continuously measure motion and environment. 2. Sensor data passes through unified bus (Block 10). 3. RT controller and HLC fuse sensor data (Blocks 7 and 5). 4. Gateway (Block 4) sends telemetry packet. 5. Radio modem (Block 3) transmits data to operator station. 6. HMI (Block 1) displays vehicle state, alarms, video feed.

Safety behavior is insured by: 1. Loss of link triggers fail-safe stop. 2. Direct bypass path exists 4 → 7 for ultra-low-latency control in tele-operation. 3. Actuator chain includes hardware current limits and emergency power-off paths. The system therefore balances autonomy, tele-operation, and field maintainability, ensuring resilience in contested environments.

Modular structure allows field replacement, incremental upgrades, and fleet standardization. Sensors and controllers can be swapped without major architectural change, supporting flexible mission profiles.

Cost Considerations (BOM Overview). The bill-of-materials (BOM) emphasizes commercially available and defense-grade components. Estimated cost structure (indicative) is given in Table 3.

Table 3 – Cost considerations overview

Category	Approx. share
Computing hardware (Jetson, MCU stack)	30–35%
Communications and security modules	10–15%
Actuators and drive electronics	25–30%
Sensors and RTK navigation	20–25%
Aux cabling, mounting, and fabrication	5–10%

Compared to dedicated UGV chassis, the primary cost savings arise from: 1) reuse of existing truck platform and drivetrain; 2) absence of high-energy traction batteries; 3) simplified logistics and maintenance.

The resulting configuration is a cost-effective deployment pathway for field-ready military UGVs requiring reliable tele-operation and assisted autonomy.

Conclusion. The described truck-based UGV represents an effective transitional model between legacy military vehicles and fully electric modular ground robots. It leverages available parts, robust mechanical structure, and proven reliability, while enabling modern autonomous control methods via modular electromechanical integration. Such architecture enables rapid scaling, flexible roles (logistics, CASEVAC, sapper support, reconnaissance), and future upgrades toward higher autonomy levels, supporting current battlefield requirements and reducing personnel exposure. The range of UGV products can be quite wide, including construction-and-road equipment (excavators, etc.). As UGV technology advances, autonomous platforms will support infantry by performing key engineering tasks, including trench excavation.

Larshin Vasyl Petrovych *– Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Military Vehicle Equipment, Military Academy (Odesa-city), Odesa, Fontanska doroha, 10, Ind. 65009, e-mail: larshin.v.p@op.edu.ua ORCID https://orcid.org/0000-0001-7536-3859*

Zlepko Igor Yuriyovych *- Head of the Vehicle Maintenance Group of the Department of Military Vehicle Equipment, Military Academy (Odesa-city), Odesa, Fontanska doroha, 10, Ind. 65009, e-mail: zlepko@meta.ua ORCID https://orcid.org/0009-0002-2582-0083*

Ларшин Василь Петрович *– доктор технічних наук, доцент кафедри автомобільної техніки Військової академії (м. Одеса), м. Одеса, Фонтанська дорога, 10, інд. 65009, e-mail: larshin.v.p@op.edu.ua ORCID https://orcid.org/0000-0001-7536-3859*

Злепко Ігор Юрійович *- керівник групи з технічного обслуговування автомобілів кафедри автомобільної техніки Військової академії (м. Одеса), м. Одеса, Фонтанська дорога, 10, інд. 65009, e-mail: zlepko@meta.ua ORCID https://orcid.org/0009-0002-2582-0083*

UDC 629.331.4

Злепко І. Ю., Ларшин В. П.

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ ВІЙСЬКОВОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Анотація. *У роботі розглянуто сучасні тенденції розвитку автомобільних двигунів в Україні, зокрема для військової техніки. Проаналізовано перспективи використання електричних, водневих і газових силових установок. Визначено їхні технологічні переваги та обмеження, можливості застосування у бойових та тилових умовах, а також напрями подальшого розвитку.*

Ключові слова: *двигун внутрішнього згоряння; військова техніка; гібридні силові установки; електромобілі; водневі двигуни; альтернативні види палива.*

Annotation. *The paper analyzes current trends in the development of automotive powertrains in Ukraine, including their application in military vehicles. The prospects of electric, hydrogen and gas engines are examined. Technological advantages and limitations in combat and logistics conditions are identified, along with key directions for further development.*

Keywords: *internal combustion engine; military vehicles; hybrid power systems; electric vehicles; hydrogen engines; alternative fuels.*

Згідно з прогнозами сучасний двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) – з елементами електрифікації та без – залишиться основним силовим агрегатом до 2030 року, причому кожні два із трьох нових автомобілів все ще будуть оснащені класичним ДВЗ.

Ефективність транспортних засобів постійно підвищується і зростає кількість автомобілів, які тепер або повністю електричні, або оснащені гібридними технологіями. З появою електромобілів на Українському ринку та їх подальшим розвитком, багато їх прихильників прогнозували революцію в автомобілебудуванні та в подальшому припинення існування ДВЗ. Саме ДВЗ належить ціла епоха розвитку автомобільної індустрії. Хоча закон № 8172 «Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами та внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрозарядної інфраструктури та електричних транспортних засобів» не ухвалено, він був замінений іншими законодавчими ініціативами. Наприклад, важливі для розвитку електромобілів зміни, пов'язані з податками, вносяться через інші закони, такі як закон про внесення змін до Податкового кодексу щодо стимулювання розвитку електромобілів (№ 1045-IX), який передбачав звільнення від акцизу та ПДВ при імпорті електромобілів до 2028 року.

У вказаному законі наголошувалось, що Україна прагне розвивати екологічно чистий громадський транспорт з подальшим збільшенням кількості зарядних станцій для електромобілів. Закон також обмежував закупівлю та використання дизельних та бензинових автобусів, що сприяло зменшенню брудних викидів у навколишнє середовище. Згідно закону з 2036 року українські міські автобуси мають бути лише електричними, або з ДВЗ, які працюють на водні, або газу (зріджений нафтовий, або стиснений природній). Прогнозувалось, що відсоток екологічно чистих транспортних засобів у великих містах збільшиться на 25%. Відповідно потреба в зарядних станціях збільшиться. Саме спрощення правил будівництва зарядних станцій сприятиме розвитку їх інфраструктури.

В свою чергу під час експлуатації електромобілів було виявлено ряд їх недоліків, тому кількість прихильників електромобілів зменшилася. Суспільство поділилося на два табори – прихильників електромобілів та прихильників використання ДВЗ, в якості палива яких може використовуватися або водень, або газ (зріджений нафтовий та стиснений природній). Однак у електромобілів є недоліки, наприклад, наступні: 1) при займанні літієвої батареї не можливо нічим загасити пожежу і автомобіль повністю знищується пожежею; 2) обмежений пробіг автомобіля та його прив’язка до зарядних станцій; 3) необхідність навчання персоналу з досить високим рівнем освіти; 4) висока напруга (до 1000 В) в електричних ланцюгах, яка небезпечна для життя.

Одним з головних конкурентів електромобілів є водневий двигун. Водневі двигуни існують 3-х наступних типів. 1. Це ДВЗ в якості палива котрих використовується водень. Двигун працює на 100 % на водні, або на суміші: водень (10 %) – бензин (90%). Такий двигун значно зменшує викиди в атмосферу забруднюючих речовин. Однак, один водень не може забезпечити стабільну роботу двигуна, завдяки тому, що водень горить короткий час. Необхідно проводити певну адаптацію, яка пов'язана з корегуванням фаз та часу впорскування палива. 2. Гібрид електромобіля та ДВЗ (працює на водні), де ДВЗ приводе в рух генератор, який заряджає акумуляторні батареї. Коефіцієнт корисної дії (ККД) такої установки збільшується на 30%. Відповідно зменшуються витрати палива. 3. Електромобіль, який складається з двох частин: а) паливного елементу, як генератора первинної енергії; б) електродвигуна, який приводе автомобіль в рух.

Отже основна перевага водневих двигунів у високому ККД та відсутності шкідливих викидів. Однак є наступні недоліки використання водневих автомобілів: 1) досить висока ціна такого автомобіля, яка в 2-3 рази перевищує ціну автомобіля зі звичайним ДВЗ; 2) відсутність відповідної інфраструктури для використання цих автомобілів (необхідність у будівництві заводів по виробництву водню, мережі АЗС, фахівців СТО тощо).

Аналізуючи роботу автомобілів, працюючих на зрідженому нафтовому газі (на основі метану, етану, пропану тощо) можемо стверджувати, що вся необхідна інфраструктура на сьогоднішній день в Україні існує. Кількість автозаправних станцій – достатня. Налагоджена робота мережі СТО, де залучені висококваліфіковані фахівці. Стосовно проведення аналізу автомобілів, працюючих на стисненому природному газі можна підтвердити, що мережа авто-газонаповнювальних компресорних станцій для нафтового газу існує. Однак, що стосується СТО, то з цим питанням э складнощі.

Після підвищення ціни на природній газ ще у 2008 році попит на монтаж та обслуговування відповідного обладнання значно скоротився, а утримування таких СТО стало не актуальним. Фахівці частково збереглися, але їх критично мало. Основна проблема монтажу та експлуатації автомобілів на стисненому газу полягає у високому тиску (до 23 МПа), а це на порядок вищі вимоги в порівнянні зі зрідженим газом. Після монтажу система газобалонного обладнання потребує так званого «опресування», яке полягає в ступеневому наповнені стисненим повітрям та перевірки на виток газу: 1 ступень – 5 МПа, 2 – 10 МПа, 3 – 15 МПа, 4 – 20 МПа. Саме для цього на СТО потрібен компресор високого тиску. Компресор повинен розташовуватися у відокремленому (від виробничого) приміщенні, а відповідно ресивери знаходитися на території підприємства, де обмежений доступ робітників.

Конструкція мережі високого тиску теж має свої вимоги. Крім цього балони високого тиску потребують проведення іспиту з періодичністю 3 роки. Для цього проводиться гідравлічний іспит під тиском до 30 МПа за допомогою насосу високого тиску. Ці роботи підвищеної небезпеки проводять висококваліфіковані фахівці. На підприємстві працює експертна група, яка визначає придатність балонів до подальшої експлуатації.

На сьогоднішній день існують двигуни, які не можуть працювати на чистому газу. Це стосується двигунів з безпосереднім впорскуванням. Для переводу цих двигунів на газобалонне обладнання використовують так звану стратегію «до впорскування», яка полягає у тому, що в циліндр подається повітряно-паливна суміш, яке приблизно включає газ (70 %) та бензин (30 %). Цей склад забезпечує електронний блок керування двигуна. Теж саме стосується і дизельних двигунів, які теж працюють на суміші дизпалива та газу (так звані «газодизелі»). Наприклад, газодизельний КАМАЗ-54118 серійно випускався з 1987 року. Впорскування палива дизеля та стисненого газу виконувалось за допомогою паливного насосу високого тиску механічним способом. Зараз це функцію виконує електронний блок керування двигуна. Викиди «газодизелів» значно (майже на 70 %) зменшуються, але мають місце.

Основним з недоліків використання цих двигунів з системою газобалонного обладнання є вибухонебезпечність та використання додаткових ємностей під газ, що збільшує вагу автомобіля та відповідно зменшує об'єм багажного відділення. Особливо збільшенню ваги схильні автомобілі які використовують стиснений природний газ. Для зменшення ваги використовують балони, які посилені композитними матеріалами, або в загалі виготовлені з композитного матеріалу. Якщо балони кріпляться зовні, то частіше за все змінюється конструкція автомобіля – встановлюються захисні кожухи. На автобусах цю функцію можуть

виконувати сполери. Композитний матеріал руйнується з годом під впливом природних факторів – сонця, температури тощо.

Саме використання в якості палива водню, або зрідженого нафтового та природного газу продовжить життя ДВЗ. При цьому не треба буде перевчати весь існуючий персонал на електромобілі. У кожному з вищевказаних випадків існують, як недоліки, так і переваги і шукати альтернативу доведеться, як інженерно-технічним працівникам так і економістам.

Окрему увагу необхідно приділити застосуванню зазначених силових установок у військовій автомобільній техніці. У бойових умовах пріоритетами виступають надійність, ремонтопридатність, автономність, стійкість до екстремальних температур і простота заправлення. Тому класичні дизельні ДВЗ наразі залишаються основним типом силових агрегатів у Збройних Силах України та арміях країн НАТО. Їхня перевага полягає у високій енергощільності палива, повсюдній доступності дизелю, можливості зберігання в польових умовах, а також сумісності з широкою номенклатурою військової техніки – від легких бронеавтомобілів до вантажівок та інженерної техніки.

Водночас, у військовій сфері розглядаються перспективи використання гібридних силових установок. Гібридні військові автомобілі забезпечують безшумний хід на електротязі, зменшують теплову та акустичну помітність, дозволяють застосовувати накопичену електроенергію для живлення обладнання (радарів, засобів зв'язку, енергетичних комплексів). Проте складність технічного обслуговування, висока вартість та залежність від зарядної інфраструктури стримують їх широке впровадження у бойових підрозділах.

Водневі технології також становлять інтерес з огляду на високий ККД і відсутність шкідливих викидів. Проте у військовій сфері наявні критичні обмеження: відсутність інфраструктури з виробництва та зберігання водню, складність транспортування та підвищені вимоги безпеки. Тому їх застосування наразі розглядається переважно на рівні експериментальних платформ.

Автомобілі на зрідженому нафтовому та стисненому природному газі можуть застосовуватися у тилових підрозділах логістики, проте для фронтових умов вони поки обмежені через ризики вибухонебезпечності балонів та залежність від спеціалізованої інфраструктури. Водночас перевагою використання вказаних газів є нижча собівартість палива, зменшення викидів та продовження ресурсу двигуна.

Отже, у найближчій перспективі головним напрямом розвитку ДВЗ для військової техніки буде вдосконалення дизельних двигунів, модернізація паливних систем, підвищення екологічності та економічності, а також впровадження гібридних технологій на спеціальних машинах.

Злепко Ігор Юрійович *– керівник групи з технічного обслуговування автомобілів кафедри автомобільної техніки Військової академії (м. Одеса), м. Одеса, Фонтанська дорога, 10, інд. 65009, e-mail: zlepko@meta.ua ORCID https://orcid.org/0009-0002-2582-0083*

Ларшин Василь Петрович *– доктор технічних наук, доцент кафедри автомобільної техніки Військової академії (м. Одеса), м. Одеса, Фонтанська дорога, 10, інд. 65009, e-mail: larshin.v.p@op.edu.ua ORCID https://orcid.org/0000-0001-7536-3859*

Zlepko Igor Yuriyovych *– Head of the Vehicle Maintenance Group of the Department of Military Vehicle Equipment, Military Academy (Odesa-city), Odesa, Fontanska doroha, 10, Ind. 65009, e-mail: zlepko@meta.ua ORCID https://orcid.org/0009-0002-2582-0083*

Vasyl Petrovych Larshin *– Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Military Vehicle Equipment, Military Academy (Odesa-city), Odesa, Fontanska doroha, 10, Ind. 65009, e-mail: larshin.v.p@op.edu.ua ORCID https://orcid.org/0000-0001-7536-3859*

УДК 629.179

Рибіцький І. В., Войтенко С. С., Карпаш О. М., Запека О. В.

ОГЛЯД МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ МЕТАЛІЧНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

Анотація. *Подано технічні та експлуатаційні аспекти контролю стану металічних об'єктів складної форми, таких як стволи артилерійських систем в умовах інтенсивного використання під час бойових дій. Розглянуто методи неруйнівного контролю. Обґрунтовано доцільність застосування саме ультразвукового методу діагностики дефектів артилерійських стволів таких як знос, овальність, здуття, втомні тріщини, що дозволить підвищити надійності, точність та безпеку експлуатації артилерійських систем.*

Ключові слова: *вимірювання; дефект; неруйнівний контроль; стволи артилерійських систем; ультразвуковий метод.*

Abstract. *The technical and operational aspects of monitoring the condition of complex-shaped metal objects, such as artillery system barrels under conditions of intensive use during combat operations, are presented. Methods of non-destructive testing are considered. The feasibility of using the ultrasonic method for diagnosing defects in artillery barrels, such as wear, ovality, swelling, fatigue cracks, is substantiated, which will allow increasing the reliability, accuracy and safety of artillery systems operation.*

Keywords: *measurement; defect; non-destructive testing; artillery system barrels; ultrasonic method.*

Артилерія з самого початку російсько-української війни стала ключовим важелем, який формує результат операцій на тактичному та оперативному рівнях. Саме інтенсивна масована та точкова артилерійська вогнева підтримка визначила можливості наших сил утримувати та відвоювати рубежі. Інтенсивність застосування артилерії є надзвичайно великою, що призводить до пришвидшеного зносу особливо стволів. Окрім того різнотипність артилерійських систем, від радянських до сучасних вітчизняних, а також іноземних, створює постійний дефіцит запасних частин і майстерень з ремонту на передовій, що веде до нехтування регламентними інтервалами з технічного обслуговування. Зношення стволів призводить до падіння точності, збільшення розсіювання, збільшення витрати снарядів і до ризику руйнування ствола та смертельної небезпеки для артрозрахунків.

У процесі експлуатації артилерійських стволів за умов низьких температур виникає небезпека їх руйнування чи окремих деталей та механізмів, яка спричинена підвищенням крихкості матеріалів. Висока температура, що виникає в наслідок інтенсивної стрільби, викликає перегрів каналу та накопичення напружень і значно знижує ресурс самого ствола. Досвід ведення бойових дій та аналіз публікацій показують, що такі проблеми є характерними не тільки для українських артсистем, але і особливо для артсистем європейського виробництва [1].

Також слід згадати і дефекти, що виникають на стадії виготовлення артсистем. Часто через інтенсивність виробництва, недосконаліть систем вхідного контролю, спрощення чи скорочення операцій виробничого та післяопераційного контролю, зношеність виробничого обладнання, дефекти можуть бути не вчасно виявлені. В результаті поєднання факторів експлуатаційних впливів та виробничих дефектів, артсистеми виходять з ладу ще на початку експлуатації. Тому питання надійного та швидкого контролю технічного стану артилерійських систем на всіх етапах їх життєвого циклу є надзвичайно актуальним.

На даний час найбільш перспективними методами діагностування є неруйнівні методи [2]. Вони в залежності від методик їх застосування, дозволяють отримати ті чи інші інформативні параметри, наприклад швидкість поширення випромінювання, величина його затухання, питомий електричний опір, коерцитивна сила та інші.

Своєчасний контроль та правильне визначення фактичних геометричних розмірів (товщини, величини зношення, овальності) стволів артилерійських систем є однією з вимог забезпечення їх безпечної експлуатації, а прогнозування їх залишкового ресурсу має здійснюватися за значенням зношення, оскільки саме воно входить практично у всі розрахункові

вирази для оцінки міцнісних характеристик. Окрім того, відповідно до Інструкції про порядок категорування ракетно-артилерійського озброєння, одним із показників за яким здійснюється переведення стволів в 5 категорію це є певне значення величини діаметрального зносу, наявність здуття (порушення форми), а також інші дефекти.

Рішення задачі визначення величини зношення стволів артилерійських систем може бути знайдене шляхом використання різноманітних методів, які базуються на взаємодії з об'єктом контролю магнітного поля, електричного струму, рентгенівського чи ядерного проникаючого випромінювання, а також за допомогою високочастотних акустичних (ультразвукових) коливань [3]. Для методів неруйнівного контролю, такі об'єкти як стволи гармат, є об'єктами складної форми. Пустотіла циліндрична поверхня з нерівномірною товщиною по всій довжині та наявністю нарізів з внутрішньої сторони, кріпильні елементи, інше, все це створює певні труднощі та ускладнює розшифруванні результатів. Тому варто провести аналіз існуючих неруйнівних методів та методик контролю товщини та геометричних розмірів з метою вибору найбільш оптимального.

Основними перевагами магнітного методу є безконтактність вимірювань, можливість контролю тонких металевих листів, а також виконання двосторонніх вимірювань зносу навіть за умови доступу лише з одного боку деталі. Водночас метод має низку недоліків, зокрема вплив неоднорідності фізико-хімічних властивостей металу, зазору між електромагнітом і поверхнею, стану поверхні, а також зовнішні електромагнітні поля.

До переваг методу радіохвильового вимірювання належать висока швидкість і точність вимірювань, стабільність результатів незалежно від фізико-механічних властивостей металу, а також можливість оперативного контролю під час виробничого процесу. Основними недоліками є потреба у двосторонньому доступі до поверхні дослідження та складність обробки й інтерпретації даних, не можливість отримати інформацію про наявність внутрішніх дефектів.

До переваг радіаційного методу належать висока точність і швидкість вимірювань, незалежність результатів від фізико-механічних властивостей матеріалу та стану його поверхні, можливість контролю елементів зі складною геометрією, а також проведення безперервного контролю під час виробничого процесу. Основними недоліками є потреба періодичного калібрування приладів за допомогою еталонів, вимоги до кваліфікації персоналу та потенційна шкідливість іонізуючого випромінювання.

Найбільш поширеним на даний час є акустичний луно-імпульсний метод неруйнівного контролю товщини та дефектоскопії. Він володіє рядом переваг, зокрема: висока чутливість; значна проникна здатність; можливість визначення координат і розмірів дефектів; миттєве відображення результатів контролю; можливість контролю за умови одностороннього доступу до виробу; простота і висока продуктивність контролю; безпечність роботи оператора та обслуговуючого персоналу. Окрім того, метод дає можливість контролювати геометричні розміри виробів і визначати фізико-механічні властивості й структуру. До недоліків акустичного методу можна віднести: необхідність розробляти спеціальні методик контролю під різні вироби; порівняно висока чисто-та оброблення поверхні підконтрольних виробів; наявність мертвих зон контролю; відносна складність знаходження, розмірів та характеру дефектів; застосування контактної рідини для забезпечення акустичного зв'язку між п'єзоперетворювачами і контрольованими виробами [3].

В ході застосування ультразвукових методів неруйнівного контролю такі об'єкти як стволи артилерійських систем, не дивлячись на відносну свою геометричну простоту, створюють подекуди суттєві труднощі через складність форми. Криві поверхні виробів виступають в ролі лінзи, збираючої або розсіювальної. В таких випадках умови розповсюдження ультразвукових коливань, які заломлюються при введенні у виріб, відбиваються від його поверхонь (нижньої чи бокових), приймаються п'єзоелектричним перетворювачем у вигляді ехо-сигналів, будуть різними для виробів різної форми.

Відповідно, методика контролю виробів циліндричної форми вимагає суттєвого, порівняно з методикою контролю виробів простої форми, ускладнення. З метою підвищення надійності контролю необхідно використовувати різним способом орієнтовані ультразвукові перетворювачі суміщеного типу. Для підвищення швидкості контролю та в деякій мірі полегшення розшифрування сигналів у процесі контролю необхідно здійснювати обертання виробу з одночасним переміщенням перетворювачів вздовж твірної циліндра. З метою вирівнювання

чутливості по товщині виробу необхідна система часового регулювання чутливості зі значно ширшим діапазоном регулювання, ніж для контролю виробів з плоскими поверхнями. Всі ці задачі окремо в достатній мірі на даний час реалізовані методично та приладово і сам метод ультразвукового контролю дуже добре розвинутий. Складність полягає в необхідності їх комплексного об'єднання в одну систему контролю. Проте проведений аналіз існуючих методів контролю показав, що незважаючи на певну трудність в розробленні самих методів, методик та технічних засобів, ультразвуковий метод контролю таких об'єктів як стволи артилерійських систем є найоптимальнішим. Він дозволить проводити вимірювання не тільки товщини (в тому числі і залишкової), овальності та здуття, але і дасть можливість одночасно проводити дефектоскопічний контроль для виявлення різного роду тріщин, пор та не металічних включень.

Список використаних джерел:

1. Таранець С.В., Филипенко А.О. Застосування артилерії силами оборони України під час російсько-української війни: оцін-ки, тенденції, використання міжнародної військово-технічної допомоги. Military strategy and technology. № 1(1) / 2025. с. 99-110.
2. EN 1330-2:2001. Non destructive testing - Terminology - Part 2: "Terms common to the non-destructive testing methods".
3. Карпаш М. О., Карпаш О. М., Ващишак І. Р., Доценко Є. Р., Миндюк В. Д., Рибіцький І. В., Яворський А. В. Технічна діагностика обладнання та конструкцій : навч. посібник. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2020. 413 с.

Рибіцький Ігор Володимирович *– доктор технічних наук, професор, викладач кафедри метрології та стандартизації, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: rybitsky@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0003-3596-3918.*

Войтенко Сергій Станіславович *– кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри метрології та стандартизації, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: sergej.010679@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0003-4134-5964*

Карпаш Олег Михайлович *– доктор технічних наук, професор, викладач кафедри метрології та стандартизації, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: oleg.karpash49@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0001-4217-2666.*

Запека Віталій Юрійович *– старший викладач кафедри метрології та стандартизації, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: vitaliyzapeka@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0003-3143-6600.*

Ihor Rybitskyi *– Doctor of Technical Sciences, Professor, Lecturer of Metrology and Standardization Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: rybitsky@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0003-3596-3918.*

Serhii Voitenko – *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Metrology and Standardization Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: sergej.010679@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0003-4134-5964*

Oleh Karpash *– Doctor of Technical Sciences, Professor, Lecturer of Metrology and Standardization Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: oleg.karpash49@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0001-4217-2666.*

Vitalii Zapeka – *Senior Lecturer of Metrology and Standardization Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: vitaliyzapeka@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0003-3143-6600.*

УДК 004.7

Азаров О. Д., Томчук М. А., Довгань Д. С.

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ІЗ ОБМЕЖЕНИМИ АПАРАТНИМИ ПЛАТФОРМАМИ

Анотація. *Дослідження присвячене оптимізації моделей YOLO для систем комп'ютерного зору на обмежених апаратних платформах, зокрема Raspberry Pi 5. Основна увага приділена використанню високопродуктивного інференс-рушія NCNN для ефективного виконання нейромережевих моделей. Розглянуто комплекс підходів до оптимізації, включаючи квантування ваг, вибір оптимальних архітектур YOLO (YOLOv8n, YOLOv11n) та інтеграцію з апаратними акселераторами. Проаналізовано методи підвищення ефективності роботи систем у реальному часі шляхом оптимізації конвеєра обробки відеоданих та управління ресурсами процесора. Запропоновані рішення дозволяють досягти стабільної роботи з частотою 20 FPS на Raspberry Pi 5 при збереженні прийнятної точності детекції. Отримані результати демонструють практичну придатність для розгортання автономних систем розпізнавання на безпілотних апаратах та інших пристроях з обмеженими обчислювальними можливостями. .*

Ключові слова*: YOLO, NCNN, Raspberry Pi 5, оптимізація нейронних мереж, комп'ютерний зір, вбудовані системи, інференс у реальному часі, квантування моделей.*

Abstract. *The study is dedicated to optimizing YOLO models for computer vision systems on resource- constrained hardware platforms, specifically the Raspberry Pi 5. The primary focus is on utilizing the high-performance NCNN inference engine for efficient execution of neural network models. A comprehensive set of optimization approaches is considered, including weight quantization, the selection of optimal YOLO architectures (YOLOv8n, YOLOv11n), and integration with hardware accelerators. Methods for enhancing real-time system performance through video data processing pipeline optimization and CPU resource management are analyzed. The proposed solutions enable stable performance at 20 FPS on a Raspberry Pi 5 while maintaining acceptable detection accuracy. The obtained results demonstrate practical suitability for deploying autonomous recognition systems on unmanned aerial vehicles and other devices with limited computational capabilities.*

Keywords*: YOLO, NCNN, Raspberry Pi 5, Neural Network Optimization, Computer Vision, Embedded Systems, Real-time Inference, Model Quantization.*

Вступ

У сучасному світі, де швидкість та ефективність прийняття рішень часто визначають успіх виконання завдань, технології комп'ютерного зору відкривають нові горизонти можливостей для автономних систем. Від безпілотних апаратів до розумних систем спостереження – здатність машин "бачити" та "розуміти" навколишнє середовище стає ключовою ланкою у створенні інтелектуальних технологій майбутнього.

Однак найбільш перспективні напрямки застосування комп'ютерного зору часто стикаються з серйозним технічним обмеженням – потребою у високій обчислювальній потужності. Сучасні нейронні мережі, здатні розпізнавати об'єкти з надлюдською точністю, традиційно вимагають потужних серверних GPU, що робить їх малопридатними для вбудованих систем та мобільних платформ.

Ця робота народилася з практичного протиріччя між потребою у високоякісній детекції об'єктів у реальному часі та обмеженими апаратними ресурсами доступних платформ, таких як Raspberry Pi 5. Сучасні системи розпізнавання, розроблені для потужних серверів, часто виявляються непрактичними для впровадження в умовах, де критичними є енергоефективність, вартість та компактність.

Актуальність дослідження важко переоцінити. Для безпілотних систем це можливість автономної навігації та виконання завдань без постійного зв'язку з оператором. Для систем безпеки – це шлях до створення ефективних розподілених мереж спостереження. Для промисловості – це основа для розумної автоматизації та контролю якості.

Мета цієї роботи – не просто адаптувати існуючі алгоритми, а створити цілісну методологію оптимізації систем комп'ютерного зору для роботи в умовах жорстких апаратних обмежень. Особливу увагу приділено пошуку балансу між продуктивністю та точністю, що є вирішальним фактором для практичного впровадження технологій комп'ютерного зору в реальних умовах.

Результат дослідження

Проведене дослідження дозволило розробити комплексний підхід до оптимізації систем комп'ютерного зору для обмежених апаратних платформ. Отримані результати включають:

1. Порівняльний аналіз продуктивності моделей YOLO:

— протестовано різні архітектури YOLO (v8n, v11n, v11s) на платформі Raspberry Pi 5;
— встановлено, що YOLOv11n демонструє оптимальне співвідношення швидкодії та точності;
— досягнуто середню швидкість обробки 18-22 FPS при розмірі моделі лише 3.2 МБ.

2. Ефективність використання NCNN інференс-рушія:

— реалізовано конвертацію моделей у формат NCNN з подальшим квантуванням;
— забезпечено зниження затримки інференсу на 35% порівняно з TensorFlow Lite;
— досягнуто стабільну роботу з використанням лише 45% ресурсів CPU.

3. Оптимізація конвеєра обробки відео:

— розроблено адаптивний механізм зміни роздільної здатності обробки;
— запропоновано метод динамічного вибору зони детекції;
— реалізовано пайплайн з паралельною обробкою кадрів.

4. Практичне впровадження

— створено прототип системи для автономного супроводу об'єктів;
— забезпечено інтеграцію з протоколом MavLink для керування БПЛА;
— продемонстровано роботу системи в реальних умовах з затримкою менше 100 мс.

Для оцінки ефективності було проведено серію тестів:

— Точність детекції (mAP@0.5): 68.2%
— Стабільність роботи: 95% без збоїв протягом 24 годин
— Енергоспоживання: 3.8 Вт у режимі максимального навантаження

Отримані результати підтверджують можливість практичного використання оптимізованих моделей комп'ютерного зору на обмежених апаратних платформах для вирішення завдань реального часу.

Висновки

Проведене дослідження дозволило сформулювати низку важливих висновків щодо оптимізації систем комп'ютерного зору для роботи на обмежених апаратних платформах. Отримані результати свідчать про ефективність запропонованого комплексного підходу.

Головним висновком є те, що оптимальна архітектура нейронної мережі має визначатися конкретними вимогами до продуктивності та апаратними можливостями цільової платформи. Модель YOLOv8n продемонструвала найкраще співвідношення швидкодії та точності серед усіх тестованих архітектур для Raspberry Pi 5.

Важливим результатом стало доведення ефективності використання спеціалізованих інференс-рушіїв. Застосування NCNN у поєднанні з методами квантування дозволило досягти значного зниження затримки обробки та економії ресурсів пам'яті.

Також було підтверджено, що адаптивні методи обробки відеоданих є ключовими для підтримки стабільної роботи системи в реальному часі. Реалізація механізмів динамічного вибору зони детекції та паралельної обробки забезпечила досягнення цільових показників продуктивності.

Практична реалізація робочого прототипу підтвердила можливість успішного застосування оптимізованих систем комп'ютерного зору в автономних застосунках. Інтеграція з протоколом MavLink та забезпечення низької затримки обробки відкривають широкі перспективи для впровадження подібних рішень у безпілотних системах різного призначення.

Отримані результати створюють основу для подальших досліджень у напрямку розширення функціональних можливостей систем, покращення їх адаптивних якостей та оптимізації для роботи в складних умовах експлуатації.

Список використаних джерел:

1. Official OpenCV Documentation [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://docs.opencv.org/
2. Ultralytics YOLO Documentation [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://docs.ultralytics.com/
3. Tencent NCNN Framework Documentation [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://github.com/Tencent/ncnn
4. Raspberry Pi 5 Technical Specifications [Електронний ресурс]. -Режим доступу: https://www.raspberrypi.com/documentation/
5. MAVLink Protocol Documentation [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://mavlink.io/en/
6. Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An Incremental Improvement. arXiv preprint arXiv:1804.02767.
7. Jocher, G., et al. (2023). Ultralytics YOLOv8: State-of-the-Art Object Detection. Ultralytics.
8. Wang, J., et al. (2021). NCNN: A High-Performance Neural Network Inference Framework Optimized for Mobile Platforms. Tencent.
9. TensorRT Optimization Guide [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://docs.nvidia.com/deeplearning/tensorrt/
10. OpenVINO Toolkit Documentation [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://docs.openvino.ai/
11. Comparative Analysis of Real-time Object Detectors for Embedded Systems / K. Zhang et al. - Journal of Real- Time Image Processing, 2023.

Азаров Олексій Дмитрович *– доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри ОТ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: azarov2@vntu.edu.ua*

Томчук Микола Антонович*– кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: tomchuk@vntu.edu.ua*

Довгань Дмитро Сергійович *– студент групи 2Кі-24м, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: d…….@gmail.com*

Azarov Oleksiy Dmytrovych *– Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of OT, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: azarov2@vntu.edu.ua*

Tomchuk Mykola Antonovych *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tomchuk@vntu.edu.ua*

Dovgan Dmytro Serhiyovych *– student of group 2Ki-24m, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: d……..@gmail.com*

УДК 629.7.05

Ревко Г. В., Полонський А. В.

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ВІБРАЦІЇ ИВ-41 ТРАНСПОРТНОГО ЛІТАКА

Анотація. *Одним із ключових завдань сучасних систем контролю роботи авіаційної техніки є забезпечення високої точності вимірювання параметрів роботи двигуна. До таких параметрів належать частота обертання ротора авіаційного двигуна. Від їх точного контролю залежить ефективність виконання бойового завдання, безпека польоту та ресурс двигуна.*

В доповіді проведений аналіз існуючих систем контролю, визначення їх недоліків і розробка пропозицій щодо вдосконалення системи вібрації ИВ-41 транспортного літака на основі новітніх технологій моніторингу з використанням сучасних технологій.

Ключові слова: *повітряне судно, система контролю, авіаційний двигун, система вібрації, гібридна система вимірювання частоти обертів авіаційного двигуна.*

Annotation. *One of the key tasks of modern aviation equipment control systems is to ensure high accuracy in measuring engine performance parameters. These parameters include the rotation speed of the aircraft engine rotor. The effectiveness of combat missions, flight safety, and engine life depend on their accurate control.*

The report analyzes existing control systems, identifies their shortcomings, and develops proposals for improving the vibration control system of the IV-41 transport aircraft based on the latest monitoring technologies using modern technologies.

Keywords*: aircraft, control system, aircraft engine, vibration system, hybrid aircraft engine speed measurement system.*

Своєчасне виявлення та проведення моніторингу причин виникнення вібрацій є актуальною задачею. Апаратура вібрації ІВ-41АМ призначена для контролю рівня віброперевантажень авіадвигунів, а також для сигналізації про виникнення неприпустимих віброперевантажень [1].

Вдосконалення системи вібрації ИВ-41 необхідне для зниження шкідливого впливу вібрації, підвищення продуктивності та продовження терміну служби обладнання. Це досягається зменшенням вібрації, покращенням механічної передачі енергії вібрації в енергію деформації та забезпеченням безпечних умов роботи.

Традиційно в авіації використовуються індуктивні та магнітні датчики, які формують імпульси при проходженні зубців або міток на валу двигуна. Такі системи прості, надійні та малочутливі до температур, проте мають обмежену точність на високих обертах і чутливі до електромагнітних завад.

Вдосконалення системи вібрації ИВ-41 транспортного літака може включати кілька ключових аспектів, які допоможуть підвищити надійність та ефективність системи контролю вібрацій. Наведемо декілька можливих напрямків для вдосконалення даної системи [2]:

1. Використання системи контролю в реальному часі, яка дозволяє виявляти вібрації на ранніх стадіях та запобігати серйозним несправностям.
2. Інтеграція новітніх датчиків, які забезпечують більш точні вимірювання та швидшу реакцію на зміни.
3. Застосування аналітичних методів для обробки даних про вібрації, що дозволяє виявити потенційні проблеми.
4. Використання машинного навчання для прогнозування можливих відмов на основі аналізу даних.

5. Розробка програм технічного обслуговування, які включають регулярні перевірки та налаштування системи.

6. Оцінка та вдосконалення конструктивних елементів системи, щоб зменшити вібраційні навантаження на критично важливі компоненти.

7. Використання сучасних композитних матеріалів з кращими вібраційними характеристиками.

В свою чергу дані напрямки можуть суттєво підвищити ефективність системи вібрації ИВ-41 та забезпечити безпеку польотів.

Існуючі вимірювальні системи потребують оновлення відповідно до вимог сучасної авіації.

З метою вдосконалення системи вібрації ИВ-41 пропонується впровадження гібридної системи вимірювання частоти обертів, поєднання індуктивного датчика як основного і оптичного як резервного. Для точного вимірювання періоду імпульсів і фільтрації шуму застосовується цифровий контролер [3].

Дану гібридну система пропонується інтегрувати в бортовий комплекс контролю технічного стану двигуна.

Впровадження гібридних систем вібрації літаків є високотехнологічними, інтегрованими рішеннями, які забезпечують постійний моніторинг, прогнозоване обслуговування та підвищують загальну ефективність та безпеку польотів повітряних суден державної авіації України.

Список використаних джерел:

1. https://standart-pribor.com.ua/product/iv-41a-apparatura-kontrolya-vibratsii
2. https://skybrary.aero/articles/aircraft-condition-monitoring-system-acms
3. https://www.meggitt.com/wp-content/uploads/2019/10/Aero-EVM-EHM-Systems_v1-0_11-08.pdf

Ревко Григорій Васильович *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail:revkogrigorii12@gmail.com*

Полонський Андрій Вячеславоич *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: andriylons1234@gmail.com*

Revko Hrihorii Vasylyovych *– student from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e- mail: revkogrigorii12@gmail.com*

Polonsky Andriy Vyacheslavovich *– student from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: : andriylons1234@gmail.com*

УДК 623.746.9:629.735:004.056.5

Антоненко Г. М., Драгунов А. М., Щетина П. В.

ПЕРСПЕКТИВИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ НАДЛЕГКИХ БАГАТОЦІЛЬОВИХ ЛІТАКІВ У СИСТЕМАХ ПРОТИДІЇ БПЛА

Анотація. *У роботі розглядається концепція використання легких багатоцільових літальних апаратів як ефективних платформ для протидії малорозмірним ударним безпілотним літальним апаратам типу «Shahed». Обґрунтовується доцільність застосування таких літаків завдяки їх високій мобільності, відносно низькій вартості експлуатації, простоті обслуговування та можливості оснащення сучасними системами спостереження, навігації й радіоелектронної боротьби. Визначаються перспективні напрями розвитку –підвищення ефективності виявлення цілей, скорочення часу реагування, забезпечення модульності конструкції та інтеграції з існуючими системами протиповітряної оборони.*

Ключові слова: *легкі літаки, протидія БПЛА, Shahed, радіоелектронна боротьба.*

Abstract. *The paper examines the concept of using light multi-purpose aircraft as effective platforms for countering small-sized attack unmanned aerial vehicles of the "Shahed" type. The expediency of using such aircraft is substantiated due to their high mobility, relatively low cost of operation, ease of maintenance and the possibility of equipping them with modern surveillance, navigation and electronic warfare systems. Prospective directions for the development of – are determined, increasing the efficiency of target detection, reducing response time, ensuring design modularity and integration with existing air defense systems.*

Key words: *light aircraft, anti-UAV, Shahed, electronic warfare.*

Сучасні виклики безпекового середовища, зокрема активне використання противником ударних безпілотних літальних апаратів типу "Shahed" [1], зумовлюють необхідність пошуку нових ефективних засобів їх виявлення та знищення. Традиційні системи протиповітряної оборони мають високу вартість та обмежений ресурс, що робить їх нераціональними для боротьби з дешевими дронами-камікадзе. У цьому контексті особливу увагу привертають легкі багатоцільові літаки, які можуть стати гнучкою та економічно доцільною платформою для виконання завдань розвідки, моніторингу повітряного простору та підтримки засобів радіоелектронної боротьби [4], [6].

Порівняльна характеристика літаків базується на технічних даних виробників [2], [3], [5].

Таблиця 1. Порівняльна характеристика літаків для протидії БПЛА типу "Shahed"

Параметр	Bristell B23 Turbo	Shark 600	Antonov An-28 (B1 / типовий An-28)
Крейсерська швидкість	240–283 км/год	240–270 км/год (економічна/типова)	≈ 335 km/h
Швидкість зриву	~80–87 км/год	~80 км/год (зі спойлерами/флапсами ~65 км/год)	88 км/год
Максимальна швидкість	280–300 км/год	280–300 км/год	≈ 350 км/год
Вантажопідйомність / корисне навантаження	≈ 285 кг	≈ 250 кг	~3 400 кг (залежно від конфігурації)

Для боротьби з безпілотними літальними апаратами типу "Shahed", літак Bristell B23 Turbo має переваги у вигляді легкості, компактності та низької вартості виробництва й експлуатації; його низька швидкість зриву (~80–87 км/год) забезпечує безпечні короткі зльоти та посадки та дозволяє працювати на низьких висотах для спостереження та швидкого реагування

[2]. До недоліків належать обмежена максимальна швидкість (280–300 км/год) і невелика вантажопідйомність (~285 кг), що обмежує можливість нести сучасні сенсори або засоби радіоелектронної боротьби, а також короткий радіус дії. Ці мінуси компенсуються тим, що більшу вантажопідйомність може забезпечити Shark 600 або An-28, а недостатню швидкість компенсує An-28, здатний розвивати вищу крейсерську швидкість.

Літак Shark 600 поєднує більшу крейсерську швидкість (240–270 км/год) і низьку швидкість зриву зі спойлерами (~65 км/год), що дозволяє швидко реагувати на малорозмірні БПЛА та безпечно маневрувати під час зльотів і посадок [3]. Можливість встановлення сучасних сенсорів і модульних систем робить його ефективним для розпізнавання та нейтралізації загроз. До недоліків належить невелика корисна вантажопідйомність (~250 кг) і обмежений радіус дії для тривалих операцій; ці обмеження компенсуються An-28, який може нести значно більші системи, і Bristell, який більш маневрений та мобільний у обмежених просторах.

Літак Antonov An-28 вирізняється великою вантажопідйомністю (~3 400 кг), високою крейсерською та максимальною швидкістю (≈335-350 км/год) і більшою дальністю польоту, що дозволяє вести патрулювання та застосовувати великі комплекси сенсорів і засобів РЕБ(є вже виготовлені з заводу модифікації). Його недоліки – велика мінімальна швидкість зриву (88 км/год), потреба у більших злітно-посадкових смугах, менша маневровість та дорожча експлуатація – частково компенсуються Bristell і Shark, які можуть працювати на низьких швидкостях, швидко реагувати і маневрувати у обмежених просторах, а також виконувати рутинні завдання більш економічно [4].

Bristell і Shark – легкі маневрені платформи, які реалістично оснащувати стабілізованими EO/IR-турелями, лазерними далекомірами та легкими прицільними модулями (для малокаліберних підвісів або керованих маловагових боєприпасів), причому Shark має кращу швидкість реагування, а Bristell – більшу економічність і простоту застосування; An-28 – це носій для важчих гарматних модулів, великих РЕБ – контейнерів і потужних сенсорних систем за рахунок більших вантажопідйомності й простору. Балістичний комп'ютер у поєднанні з EO/IR і лазерним далекоміром [6] значно підвищує точність ураження малих повільних БПЛА типу "Shahed", а постановка перешкод РЕБ часто буває ефективнішою за пряме ураження при обмежених ресурсах. Наведені варіанти підвісного озброєння показують компроміс між ефективністю та безпекою платформи:

- Легкі кулеметні підвісні контейнери (калібри 5.45-7.62 мм) – підходять для Bristell і Shark, якщо вага підвіски і кріплення сумісні; мінімальна віддача, низький ризик конструкційних пошкоджень.

- Підвісні 12.7мм / 14.5мм кулеметні модулі – можливо для Shark за умови перевірки кріплень; для Bristell це вже близько до верхньої межі. 20–23 мм автоматичні гармати (автопушки) – технічно ефективні проти невеликих БПЛА, але створюють значну віддачу. Реалістично – лише для An-28 після інженерного підсилення платформи.

- 30 мм і більше – вимагають серйозних конструкційних змін; для легких платформ – заборонено/небезпечно; для An-28 – можливо, але потребує проєктних змін.

- НУРС-підвіси (малокаліберні) – можуть бути опцією для Shark/Bristell лише якщо кожен блок має невелику масу; для An-28 – широкі можливості.

Досліджено застосування легких літаків для протидії БПЛА типу "Shahed" та обґрунтовано практичну придатність платформи Shark 600 для цих завдань. На основі аналізу запропоновано технічні й організаційні заходи з оснащення та інтеграції літака в систему мобільної повітряної оборони (системи спостереження, РЕБ, легкі уражаючі модулі) [6], [7]. Також запропоновані заходи передбачають поетапне впровадження з використанням польових випробувань та оцінкою ефективності у натуральних умовах. Крім того, рекомендовано розробити критерії оперативної готовності та методику оцінки співвідношення витрат і вигоди при розгортанні мобільних авіапідрозділів. Впровадження запропонованих рішень має підвищити оперативність реагування, ефективність перехоплення та економічну доцільність утримання мобільних авіапідрозділів. Необхідно провести польові випробування інтегрованих систем і навчальні тренування для екіпажів та технічного персоналу, щоб підтвердити працездатність рішень у реальних умовах. Також слід врахувати питання логістики, технічного обслуговування та відповідності правовим нормам застосування озброєння та засобів РЕБ. Додатково рекомендується розробити стандартизовані процедури взаємодії між підрозділами та

визначити оптимальні маршрути патрулювання для забезпечення швидкого реагування на загрози. Крім того, варто провести аналіз економічної ефективності та ресурсних витрат для обґрунтування масштабування мобільних авіа підрозділів [7], [8].

Список використаних джерел:

1. Russia's Iranian-Made UAVs: A Technical Profile [Електронний ресурс] // Royal United Services Institute (RUSI). – Режим доступу: https://www.rusi.org/explore-our-research/publications/commentary/russias-iranian-made-uavs-technical-profile – Дата звернення: 01.11.2025.
2. Bristell B23 – Aircraft Specifications [Електронний ресурс] // BRM Aero. – Режим доступу: https://www.bristell.com/bristell-b23/ – Дата звернення: 01.11.2025.
3. Shark 600 Flight Manual. Rev. E [Електронний ресурс] // Shark Aero. – 2022. – Режим доступу: https://www.shark.aero/uploads/support/manuals/shark600-ma-075-rev-e-flight-manual-en.pdf – Дата звернення: 01.11.2025.
4. A Comprehensive Approach to Countering Unmanned Aircraft Systems / Joint Air Power Competence Centre (JAPCC) [Електронний ресурс] // ResearchGate. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/378835474_Viznacenna_potencijnogo_bagatofunkcionalnogo_litaka_dla_potreb_Povitranih_Sil_Zbrojnih_Sil_Ukraini_ta_analiz_mozlivih_slahiv_postacanna_takih_litakiv – Дата звернення: 01.11.2025.
5. Antonov An-28 – Specifications [Електронний ресурс] // Antonov Company. – Режим доступу: https://antonov.com/en/history/an-28 – Дата звернення: 01.11.2025.
6. Ukraine Receives First Shark Light Aircraft with Anti-Drone EW Capability [Електронний ресурс] // Defense Express. – 2023. – Режим доступу: https://en.defence-ua.com/video/ukraine_receives_first_shark_light_aircraft_with_anti_drone_ew_capability-32.html – Дата звернення: 01.11.2025.
7. Brewczyński K., Kurek M., Karpowicz J. Methods for Assessing the Effectiveness of Modern Counter Unmanned Aircraft Systems // Remote Sensing. – 2024. – Vol. 16, No. 19. – Article 3714. – DOI: https://doi.org/10.3390/rs16193714
8. General Approach to Counter Unmanned Aerial Vehicles / A. Karpowicz, M. Kurek, K. Brewczyński [Електронний ресурс] // Biblioteka Nauki. – 2023. – Режим доступу: https://bibliotekanauki.pl/articles/466158.pdf – Дата звернення: 01.11.2025.

Антоненко Галина Михайлівна *– старший викладач кафедри вищої математики Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, вулиця Полтавський шлях, буд. 123, інд. 61123, e-mail: gmantonenko@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-8643-5376*

Драгунов Артем Миколайович *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, вулиця Полтавський шлях, буд. 123, інд. 61123, e-mail: artem19992010@gmail.com ORCID https://orcid.org/* 0009-0004-4605-3666

Щетина Поліна Вікторівна *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, вулиця Полтавський шлях, буд. 123, інд. 61123, e-mail: polinasetina074@gmail.com ORCID https://orcid.org/* 0009-0009-4599-1155

Halyna Mykhailivna Antonenko *– Senior Lecturer of Department of Higher Mathematics of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Poltavsky Shlyakh St., Building 123 Ind. 61123,e-mail: gmantonenko@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-8643-5376*

Artem Mykolaiovych Drahunov *– Cadet at the Faculty of Aviation Engineering of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Poltavsky Shlyakh St., Building 123*

Ind. 61123, e-mail: artem19992010@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0009-0004-4605-3666

***Polina Viktorivna Shchetina** – Cadet at the Faculty of Aviation Engineering of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Poltavsky Shlyakh St., Building 123 Ind. 61123, e-mail: polinasetina074@gmail.com ORCID https://orcid.org/* 0009-0009-4599-1155

УДК 351.9:347

Dyka M. S.

AUTOMATED DETECTION OF CYBER THREATS TO IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF COMBAT CONTROL

Abstract. *This paper considers integration of automated cyber-threat detection methods, including machine learning and signature-based systems, into military command-and-control systems to improve situational awareness and combat effectiveness. We analyse operational requirements, model architectures for real-time anomaly detection, and procedures for secure deployment in constrained and contested environments. A case study demonstrates how rapid detection and automated response reduce mission disruption and support informed decision-making under cyber-attack.*

Keywords: *cyber-threat detection; command-and-control; machine learning; situational awareness; automated response.*

Анотація. *У статті розглядається інтеграція методів автоматизованого виявлення кіберзагроз, зокрема машинного навчання та сигнатурних систем, у військові системи командування та управління для підвищення ситуаційної обізнаності та ефективності бойових дій. Проаналізовано вимоги до таких систем, архітектуру моделей для виявлення аномалій у режимі реального часу та процедури безпечного впровадження в умовах обмежених і підконтрольних середовищ. Наведено приклад моделювання, який демонструє, як швидке виявлення та автоматизоване реагування зменшують ризики зриву операцій та підтримують прийняття рішень в умовах кібернападу.*

Ключові слова: *кіберзагрози; системи командування; машинне навчання; ситуаційна обізнаність; автоматизоване реагування.*

Introduction. Modern combat systems rely heavily on information exchange through command-and-control (C2) networks. As adversaries increasingly employ cyber operations to degrade, deny, or manipulate these networks, integrating automated cyber-threat detection into C2 systems becomes necessary to preserve combat effectiveness.

Operational requirements. A detection system for military C2 must satisfy strict constraints: low false-positive rate to avoid operator overload; real-time processing to enable rapid mitigation; robustness to adversarial evasion techniques; and the ability to operate in bandwidth-limited or intermittent-connectivity environments. Additionally, the system must respect classification and data handling rules in multi-level security contexts.

Detection approaches. Two complementary approaches are recommended: signature-based systems for known threats, and anomaly-based systems leveraging machine learning for novel or evolving threats. Lightweight models (e.g., decision trees, small neural networks) trained on network telemetry can flag deviations in traffic patterns, while more complex offline models support deeper forensics.

System architecture. A staged architecture improves reliability: on-edge lightweight monitors perform initial filtering and local mitigation; centralized analytic nodes aggregate telemetry for model scoring and trend analysis; and a command dashboard presents prioritized alerts with recommended actions. Secure communications channels and cryptographic attestation ensure integrity of telemetry and model updates.

Case study. We simulated a denial-of-service followed by a command-spoofing attempt against a C2 subnet. The edge detector identified traffic anomalies within 6 seconds, triggering automated circuit

isolation and informing operators through prioritized alerts. The combined automated response and operator validation restored command integrity with minimal mission delay.

Deployment considerations. Practical deployment requires rigorous testing in representative environments, model update pipelines that prevent poisoning, and clear operator procedures. Interoperability with existing defense-grade intrusion detection systems (IDS) and adherence to information assurance policies are essential.

Conclusions. Automated cyber-threat detection integrated into military command-and-control systems significantly enhances situational awareness and resilience. When properly constrained and tested, these systems reduce the time to detect and respond to cyber incidents, thereby preserving combat effectiveness and supporting mission success.

References:

1. A Review on C3I Systems' Security: Vulnerabilities, Attacks, and Countermeasures — Hussain Ahmad, Isuru Dharmadasa, Faheem Ullah, M. Ali Babar (2021). Огляд систем C3I (Command, Control, Communication, Intelligence) з точки зору кібербезпеки.
2. Digital Sovereignty Control Framework for Military AI-based Cyber Security Systems — C. Maathuis et al. (2025). Framework для управління AI-системами кібербезпеки у військовій сфері.
3. AI in Modern Warfare: Impacts on Information Operations, Cyber Conflicts, and C2 Systems — Muhammad Umar Farooq Baloch (2025). Аналіз ролі AI у сучасній війні, інформаційних операціях, кіберконфліктах та системах командування і управління.

Дика Марія Сергіївна *– курсант, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації, Національний Технічний Університет України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського", м. Київ, mashadika2222@gmail.com*

Dyka Maria Serhiivna *– cadet, Institute of Special Communications and Information Protection, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, mashadika2222@gmail.com*

УДК 533.6.071.4

Спіркін Є. В., Мостовий А. В., Мироненко К. К.

МОДЕРНІЗАЦІЯ АЕРОДИНАМІЧНОЇ ТРУБИ ТН-1

Анотація. *Проведена модернізація аеродинамічної труби ТН-1 з метою покращення параметрів повітряного потоку шляхом проєктування та побудови лемніскатного насадку вхідного пристрою по типу Бернуллі. Отримана модернізація дозволить зменшити турбулентність повітряного потоку на вході в аеродинамічну трубу. Це дасть можливість покращити результати вимірювань, які проводяться за допомогою даної аеродинамічної труби.*

Ключові слова: *аеродинамічна труба, вхідний пристрій, лемніската Бернуллі.*

Abstract. *The TN-1 wind tunnel was modernized to improve airflow parameters by designing and constructing a lemniscate nozzle of the Bernoulli-type inlet device. The implemented modification is intended to reduce airflow turbulence at the wind tunnel inlet.Consequently, this will improve the accuracy of measurements conducted within the facility.*

Keywords: *Wind tunnel, inlet, Lemniscate of Bernoulli.*

Вступ. Розвиток сучасної авіаційної та безпілотної техніки неможливий без проведення точних експериментальних досліджень аеродинамічних характеристик. Ключовим інструментом для таких досліджень є аеродинамічна труба (АДТ), яка дозволяє моделювати умови обтікання об'єктів повітряним потоком та вимірювати їхні аеродинамічні параметри.

Однак, достовірність отриманих експериментальних даних безпосередньо залежить від якості повітряного потоку в робочій частині труби, зокрема від рівня його турбулентності. Формування рівномірного та низькотурбулентного потоку значною мірою визначається геометрією вхідного пристрою АДТ. Тому модернізація існуючих експериментальних установок, спрямована на вдосконалення їх аеродинамічних характеристик, є актуальною науково-технічною задачею.

Основний матеріал. Якість експериментальних досліджень в аеродинамічних трубах (АДТ) напряму залежить від характеристик повітряного потоку в їх робочій частині. Одним з ключових параметрів, що визначає достовірність результатів, є рівень турбулентності. Висока турбулентність потоку, що створюється на вході в АДТ, призводить до спотворення картини обтікання досліджуваного об'єкта, передчасного зриву потоку та, як наслідок, до значних похибок у вимірюванні аеродинамічних сил і моментів.

Існуюча конструкція аеродинамічної труби ТН-1 мала вхідний пристрій з простою геометрією, що не забезпечувало плавного прискорення повітря та призводило до виникнення відривних явищ на вхідних кромках. Це ставало джерелом підвищеної турбулентності, яка поширювалась далі по контуру труби аж до робочої частини, що обмежувало точність та повторюваність експериментів.

Для вирішення цієї проблеми було прийнято рішення модернізувати вхідний пристрій, спроєктувавши його за профілем Лемніскати Бернуллі. Теоретичною перевагою такої геометрії є забезпечення безвідривного обтікання та плавного, безперервного прискорення потоку від нульової швидкості в навколишньому середовищі до розрахункової швидкості у форкамері. Такий характер течії мінімізує генерацію вихорів на вході, що є фундаментальною умовою для формування потоку з низьким коефіцієнтом турбулентності.

Процес модернізації включав декілька етапів. Спочатку було проведено аеродинамічний розрахунок та побудову координат профілю Лемніскати для перерізу труби ТН-1. На основі отриманих даних було розроблено та виготовлено каркас нового вхідного пристрою за допомогою 3D друку. Фінальним етапом стало встановлення та інтеграція нового вхідного пристрою в загальну конструкцію аеродинамічної труби. Проведена модернізація дозволяє очікувати суттєвого зниження початкової турбулентності потоку, що підвищить аеродинамічну якість установки та зробить результати вимірювань більш точними та надійними, розширивши можливості АДТ ТН-1 для проведення наукових досліджень.

Висновки. Проаналізовано конструктивні недоліки аеродинамічної труби ТН-1, розглянуто проблему підвищеної турбулентності потоку та проведено модернізацію установки шляхом проєктування і побудови нового вхідного пристрою за профілем Лемніскати Бернуллі. Запропонована конструкція повинна покращити аеродинамічну якість потоку в робочій частині труби.

Втілення цієї модернізації та її результати допоможуть вирішувати задачі щодо підвищення точності та достовірності експериментальних даних, розширять можливості АДТ для проведення наукових досліджень та покращать якість вимірювань аеродинамічних характеристик досліджуваних об'єктів.

Список використаних джерел:

1. Achintya K. S., Azizur R. Numerical Analysis and Wind Tunnel Validation of Aerodynamic Efficiency with Engine Variations for a Subscale Commercial Aircraft Model. –C.: TTU, 2025. – 15 c.
2. G. Ocokoljić, B. Rašuo, and M. Kozić, "Supporting system interference on aerodynamic characteristics of an aircraft model in a low-speed wind tunnel," Aerosp. Sci. Technol., vol. 64, pp. 133–146, 2017.
3. P. Moonen, B. Blocken, S. Roels, and J. Carmeliet, "Numerical modeling of the flow conditions in a closed-circuit low-speed wind tunnel," J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., vol. 94, no. 10, pp. 699–723, 2006, doi: 10.1016/j.jweia.2006.02.001.

Спіркін Євген Вікторович *– канд. техн. наук, доцент кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів, e-mail: spirkin1982@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0003-2924-0545 Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків*

Мостовий Антон Володимирович *– ад'юнкт науково-організаційного відділу ХНУПС, e-mail: antonmostovoi@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0001-3008-3869 Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків*

Мироненко Костянтин Костянтинович *– викладач кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів, e-mail: ko3tyajob@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0003-8028-3724 Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків*

Spirkin Yevhen *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structure and Strength of Aircraft and Engines, e-mail: spirkin1982@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0003-2924-0545 Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv*

Mostovyi Anton, *– e-mail: antonmostovoi@gmail.com, Post-Graduate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University ORCID https://orcid.org/0009-0001-3008-3869 Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv*

Myronenko Kostiantyn *– Lecturer of the Department of Structure and Strength of Aircraft and Engines, e-mail: ko3tyajob@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0003-8028-3724 Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv*

УДК 621.396.965

Васюта К. С., Казьміров І. В.

МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД ГЕНЕРАЦІЇ ГІПЕРХАОТИЧНИХ КОЛИВАНЬ ДЛЯ СКРИТНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Анотація. *В роботі запропоновано модифікований метод генерації шумоподібних сигналів для радіотехнічних систем зі скритним режимом функціонування. Метод базується на каскадному поєднанні 4D гіперхаотичного осцилятора Чуа та глибокого нелінійного перетворення на основі ітеративного логістичного відображення. Проведене моделювання демонструє повне руйнування детермінованої структури вихідного атрактора та отримання сигналу з кореляційними властивостями близькими до дельта-функції. Підтверджено можливість надійного виявлення сигналу кореляційним приймачем при відношенні сигнал/шум -18 дБ.*

Ключові слова*: LPI радар, гіперхаос Чуа, кореляційний приймач, шумоподібний сигнал.*

Abstract. *This paper proposes a modified method for generating wideband noise-like signals for radio engineering systems with a stealth mode of operation. The method is based on a cascade combination of a 4D hyperchaotic Chua's oscillator and a deep nonlinear transformation using an iterative logistic map. Numerical simulations are conducted, demonstrating the complete destruction of the deterministic structure of the original attractor and the generation of a signal with correlation properties close to a delta-function. The possibility of reliable signal detection by a correlation receiver at a signal-to-noise ratio down to -18 dB is confirmed.*

Keywords*: LPI radar, Chua's hyperchaos, correlation receiver, noise-like signal.*

Сучасні вимоги до радіолокаційних станцій (РЛС) зумовлюють необхідність їх функціонування в скритному режимі, що досягається застосуванням радарів з низькою ймовірністю перехоплення (Low Probability of Intercept, LPI) [1]. Сигнали, що використовуються в класичних LPI-радарах, мають детерміновану структуру, що робить їх вразливими до засобів радіоелектронної розвідки. Використання сигналів на основі детермінованого хаосу є перспективною альтернативою, проте їхня залишкова структура, пов'язана з геометрією атрактора, може бути виявлена методами нелінійного аналізу [2]. Це обумовлює завдання розробки нових методів генерації сигналів, що поєднують складність хаосу з властивостями, невідмінними від випадкового шуму, залишаючись при цьому придатними для когерентної обробки.

В даній роботі розроблено та досліджено модифікований метод генерації шумоподібних сигналів, який шляхом каскадного поєднання гіперхаотичної динаміки та глибокого нелінійного перетворення усуває структурні особливості детермінованого хаосу. Запропонований метод складається з двох етапів.

На першому етапі генерується базове коливання за допомогою 4D гіперхаотичного осцилятора Чуа [3], що описується системою рівнянь (1):

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = \alpha \times \left(y - x - f(x) \right) \\ \dfrac{dy}{dt} = x - y + z \\ \dfrac{dz}{dt} = -\beta \times y \\ \dfrac{dw}{dt} = -\gamma \times z \end{cases} \quad (1)$$

де $f(x)$ – кусково-лінійна характеристика нелінійного елемента. Варто зазначити, що його попередником гіперхаосу є канонічний (класичний) осцилятор Чуа [4], що демонструє хаотичну поведінку в трьох вимірах (3D). Однак для сучасних задач, що вимагають підвищеної скритності,

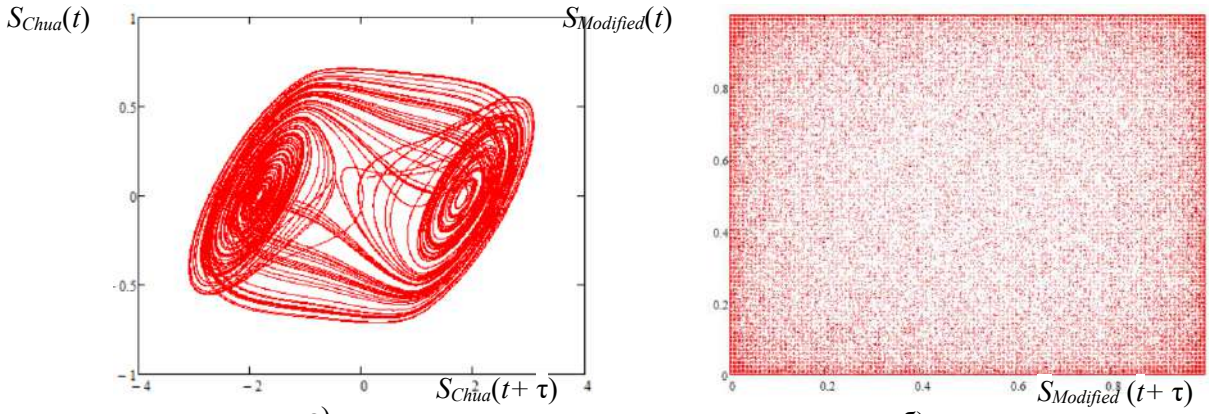
складність 3D-хаосу може бути недостатньою. Тому в даній моделі використовується варіант чотиривимірної (4D) гіперхаотичної системи шляхом додавання ще одного стану, що призводить до значно складнішої динаміки. Таким чином, використання гіперхаотичної системи забезпечує високу початкову складність базового сигналу $S_{Chua}(t)$.

На другому етапі вихідний сигнал $S_{Chua}(t)$ проходить глибоке нелінійне перетворення для руйнування його детермінованої структури, а результаті чого формується фінальний модифіікований сигнал згідно з виразом (2):

$$S_{Modified} = L^k\left(\frac{S_{Chua}(t) - \min(S_{Chua})}{\max(S_{Chua}) - \min(S_{Chua})}\right) \quad (2)$$

де сигнал нормалізується до діапазону [0, 1], а L^k позначає k-кратне застосування ітеративної функції логістичного відображення $L(y) = r \times y(1-y)$ при r=4. В роботі використано k=20 ітерацій.

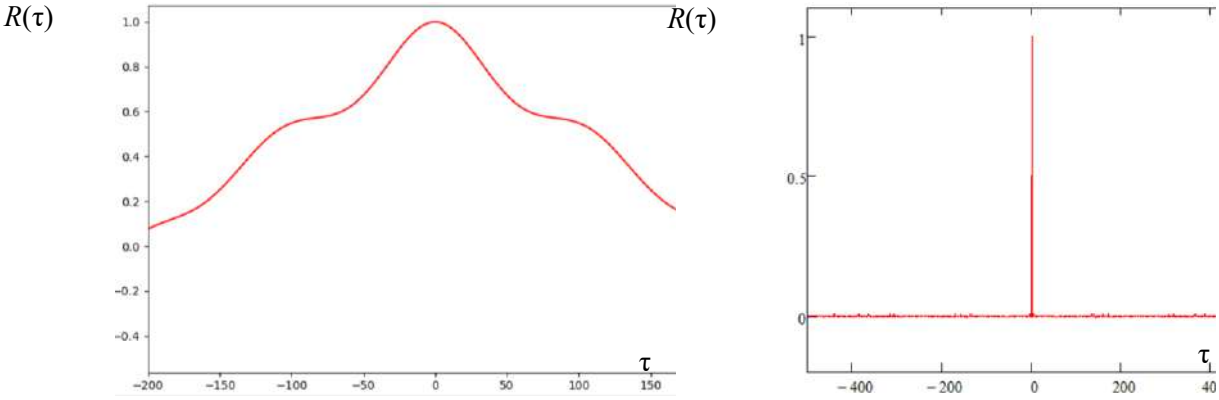
Для дослідження властивостей згенерованого сигналу було проведено моделювання. На рис. 1 показано порівняння фазових портретів, реконструйованих методом затримок. Фазовий портрет вихідного сигналу Чуа (рис. 1, а) має чітку детерміновану структуру, тоді як портрет модифікованого сигналу (рис. 1, б) являє собою щільну, рівномірно заповнену хмару точок, візуально невідмінну від портрета білого шуму.



а) б)

Рис. 1. Фазові портрети: а) вихідного сигналу осцилятора Чуа;
б) модифікованого сигналу.

Аналіз автокореляційних функцій (АКФ) (рис. 2) свідчить про явні шумоподібні властивості модифікованого сигналу, адже його АКФ має виражену дельта-подібну (“голчасту”) форму з надзвичайно низьким рівнем бічних пелюсток.



а) б)

Рис. 2. Автокореляційні функції: а) вихідного сигналу осцилятора Чуа;
б) модифікованого сигналу.

Для демонстрації можливості надійного виявлення сигналу в зашумленому каналі змодельовано роботу кореляційного приймача в каналі з адитивним білим гаусівським шумом. Приймач обчислює взаємну кореляційну функцію $R(\tau)$ між прийнятим сигналом, що складається з суміші корисного сигналу та шуму, і збереженою локальною копією випроміненого сигналу. Результати моделювання (рис. 3) показують, що навіть при відношенні сигнал/шум (SNR) на вході -18 дБ, на виході корелятора спостерігається гострий та однозначний пік, що значно перевищує рівень шуму. Це підтверджує високий коефіцієнт стиснення сигналу та можливість його виявлення в складних умовах.

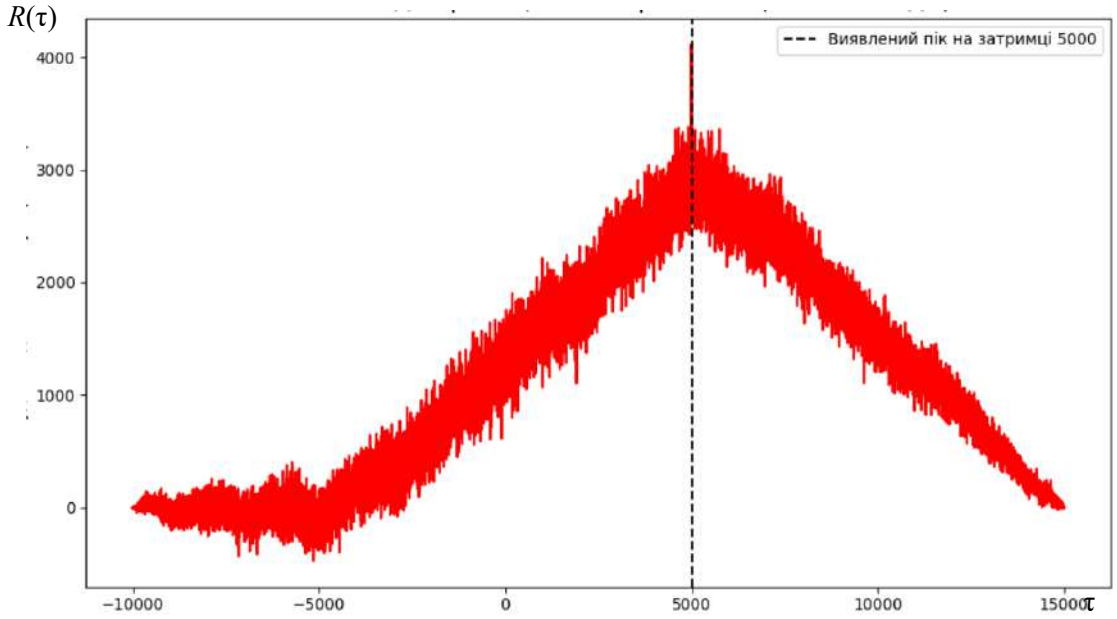


Рис. 3. Вихід кореляційного приймача при SNR = -18 дБ.

Таким чином, запропонований модифікований метод дозволяє генерувати сигнали з шумоподібними властивостями, ефективно руйнуючи детерміновану структуру вихідного хаосу. За результати моделювання доцільно надалі використовувати такі модифіковані сигнали для розробки LPI-радарів нового покоління та систем захищеного зв'язку.

Список використаних джерел:

1. Pace P. E. Detecting and Classifying Low Probability of Intercept Radar. Norwood : Artech House, 2009. 634 p.
2. Abarbanel H. D. I. Analysis of Observed Chaotic Data. New York : Springer-Verlag, 1996. 272 p.
3. Matsumoto T., Chua L. O., Kobayashi K. Hyperchaos in a four-dimensional electric circuit. *1986 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*. San Jose, CA, USA, 1986. P. 849-852.
4. Chua L. O., Lin G.-N. Canonical Realization of Chua's Circuit Family. IEEE Transactions on Circuits and Systems. 1984. Vol. 31, no. 9. P. 765-790.

Васюта Костянтин Станіславович – доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, заступник начальника Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, e-mail: kohafish@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000-0002-1978-3717

Казьміров Іван Васильович – ад'юнкт Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, e-mail: i.v.kazmirov@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0002-0897-8922

Kostiantyn Stanislavovych Vasiuta – Doctor of Engineering Science, Professor, Honoured Worker of Science and Engineering of Ukraine, Deputy Head in Science of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: kohafish@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000-0002-1978-3717

Ivan Vasylovych Kazmirov – Post-Graduate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: i.v.kazmirov@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0002-0897-8922

УДК 629.7.06

Лупашко Р. Р., Красноруцький А. О.

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ПОРЯДКУ ЗБОРУ ТА АНАЛІЗУ ІНФОРМАЦІЇ ПРО НЕСПРАВНОСТІ АВІАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІТАКА Л-39

Анотація. *Забезпечення високого рівня експлуатаційної надійності та безпеки польотів займає одну з самих важливих завдань, які вирішує державна авіація України. Основу парку державної авіації Збройних Сил України (ЗС України) становлять повітряні судна (ПС) третього - четвертого поколінь випуску 1984–1991 р.р. Кожне ПС має чітко визначений виробниками календарний строк служби, який встановлювався в межах 10–20 років. Оцінка рівня експлуатаційної надійності та безпеки польотів у державній авіації є надзвичайно важливою для забезпечення безпеки та ефективності авіаційних операцій. У доповіді розглянуто розроблення рекомендацій щодо вдосконалення процесу збору, аналізу та подання інформації про несправності авіаційної техніки на прикладі літака Л-39.*

Ключові слова: *повітряне судно, авіаційне обладнання, безпека польотів, технічне обслуговування, картка обліку несправностей.*

Annotation. *Ensuring a high level of operational reliability and flight safety is one of the most important tasks faced by Ukraine's state aviation. The fleet of the Armed Forces of Ukraine (AFU) consists mainly of third- and fourth-generation aircraft manufactured between 1984 and 1991. Each aircraft has a clearly defined service life set by the manufacturer, which ranges from 10 to 20 years. Assessing the level of operational reliability and flight safety in state aviation is extremely important for ensuring the safety and efficiency of aviation operations. The report discusses the development of recommendations for improving the process of collecting, analyzing, and submitting information about aircraft malfunctions using the example of the L-39 aircraft.*

Keywords*: aircraft, aviation equipment, flight safety, maintenance, fault record card*

Закладений при проектуванні АТ достатньо високий рівень надійності, поступово на стадії експлуатації суттєво знижується, що приводить до збільшення витрат на технічне обслуговування і особливо на ремонт. У зв’язку з цим необхідність підтримування високого рівня надійності на стадії експлуатування ПС є актуальною проблемою [1].

На даний час, експлуатація практично всіх ПС вичерпали попередньо встановлені призначені календарні показники. Подальша експлуатація таких ПС забезпечується завдяки їх модернізації та впровадженню комплексу заходів підтримання справності авіаційної техніки.

Як показує досвід технічної експлуатації системи електроживлення літака Л-39 типовими несправностями є: відмова генератора постійного струму, пошкодження регулятора напруги, коротке замикання у проводці, зношення колекторно-щіткового вузла та розрив контактів у роз'ємах. Такі відмови призводять до падіння напруги та можливого відключення приладів у польоті.

Питання своєчасного виявлення, обліку та усунення відмов безпосередньо впливає на безпеку польотів, надійність техніки та ефективність технічного обслуговування.Ось кілька ключових аспектів, які підкреслюють важливість цих процесів [3]:

1. Своєчасне виявлення несправностей на ранніх стадіях дозволяє уникнути серйозних аварій та зменшити ризики для екіпажу, а використання сучасних технологій, таких як моніторинг стану обладнання в реальному часі, може значно підвищити ефективність виявлення.

2. Облік відмов допомагає в аналізі причин, що, в свою чергу, сприяє покращенню технічного обслуговування, а статистичні дані про відмови можуть бути використані для розробки нових стандартів безпеки та надійності.

3. Швидке та ефективне усунення відмов та несправностей є запорукою безперервної експлуатації авіаційного обладнання, а регулярне технічне обслуговування та ремонти, засновані на даних обліку, допомагають підтримувати високий рівень надійності.

4. Неналежне управління відмовами може призвести до серйозних інцидентів, тому важливо дотримуватись усіх процедур та стандартів.

5. Оптимізація процесів технічного обслуговування на основі даних про відмови може зменшити витрати та підвищити загальну ефективність.

Ці аспекти підкреслюють, наскільки важливо мати чіткі процедури та системи для управління відмовами в авіації.

Згідно з МРДА 02/16 (Наказ начальника УРДДАУ №20 від 24.03.2016 "Про затвердження Методичних рекомендацій державної авіації України щодо збору, аналізу і подання інформації про несправності авіаційної техніки" [2]), у державній авіації України застосовується стандартизований підхід до збору та аналізу відмов, який включає картки обліку несправностей (КОН), термінові повідомлення, періодичні звіти та донесення про надійність. Основні недоліки полягають у значній трудомісткості обробки даних, фрагментарності баз та відсутності єдиної інформаційної системи.

Пропонується створення програмного комплексу, який дозволить моделювати електричну схему літака Л-39 та автоматично виявляти несправності за допомогою аналізу параметрів струму, напруги та опору. Система формуватиме електронні КОН і донесення згідно з вимогами МРДА 02-16.

Запропоновані рішення щодо вдосконалення процесу збору, аналізу та подання інформації про несправності авіаційної техніки дозволить [4]:

1. Впровадити електронний облік несправностей у єдиній базі даних.
2. Інтегрувати дані з системами діагностики через цифрові інтерфейси.
3. Застосувати алгоритми машинного навчання для прогнозування відмов.
4. Забезпечити автоматичну передачу даних до центральних органів аналізу.
5. Створити навчальний модуль для персоналу технічного обслуговування.

В свою чергу це дозволить підвищити ефективність аналізу несправностей, скоротити час пошуку відмов та зменшити вплив людського чинника. Автоматизація збору та обробки інформації сприятиме підвищенню надійності авіаційної техніки та безпеки польотів.

Список використаних джерел:

1. Голуб, В., Бурсала, О., Жданюк, М. (2019). Проблеми аналізу експлуатаційної надійності авіаційної техніки. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, (1(1), 61-64.

2. Наказ начальника УРДДАУ №20 від 24.03.2016 "Про затвердження Методичних рекомендацій державної авіації України щодо збору, аналізу і подання інформації про несправності авіаційної техніки".

3. https://skybrary.aero/articles/icao-safety-management-manual-doc-9859

4. https://d6scj24zvfbbo.cloudfront.net/bd896af554575015c05ebd69aae524ae/200000352-0ca680ca6b/MIL-STD-2155.pdf?ph=142b9359cb.

Лупашко Радіон Русланович *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: radionlupasko@gmail.com*

Красноруцький Андрій Олександрович *– науковий ступінь, вчене звання кандидат технічних наук,Україна, Харків, ХНУПС ім. Івана Кожедуба Поштова адреса м. Харків, вул. Динамівська 3а, 61023_ Телефон 0668927554 E-mail: krasnorycki@ukr.net*

Lupashko Radion Ruslanovych *– student from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: radionlupasko@gmail.com*

Krasnorutsky Andriy Oleksandrovych *– academic degree, academic title Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Ukraine, Kharkiv, Ivan Kozhedub KHNUPS Position Head of the Department of Aviation Equipment of Airplanes and Helicopters Postal address Kharkiv, Dynamivska St. 3a, 61023_ Phone 0668927554 E-mail: krasnorycki@ukr.net*

УДК 623.4

Баранік О. М., Юрченко В. О.

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ПАСИВНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАВАД ТА ЇХ ВПЛИВ НА ВИЗНАЧЕННЯ ЦІЛІ

Анотація. *В роботі розглянуто загальний аналіз пасивних радіолокаційних перешкод які виникають як з природних причин, так і створюються без впливу природніх факторів завдяки штучним пасткам. Для більш точнішого прикладу було розглянуто один з видів штучно створених пасивних завад типу дипольних відбивачів.*

Ключові слова: *пасивні радіолокаційні завади, дипольні відбивачі.*

Abstract. *This work examines a general analysis of passive radiolocation interferences that arise both from natural causes and are created, without the influence of natural factors, by artificial decoys. For a more precise example, one type of artificially generated passive interference — dipole reflectors (chaff).*

Keywords: *passive radar interference caused by dipole reflectors (chaff).*

Зважаючи на технологічний розвиток засобів ураження які використовуються в умовах сучасних війн постає важливе питання щодо захисту повітряних суден. В теперішній час інформаційно-технічною основою для використання високоточної зброї є радіоелектронні системи та засоби розвідки, радіонавігації, радіозв'язку, наведення і прицілювання, на які можна впливати для зміни їх працездатності та достовірності роботи. Сучасний захист літаків на сьогодні вимагає розширення можливостей та удосконалення характеристик протидії новітнім зразкам систем ППО [1].

Пасивними завадами (ПЗ) у радіолокації називають електромагнітні коливання, які виникають за рахунок відбиття зондувального сигналу від відбивачів, що заважають. Вони поділяються на дві групи: навмисті та ненавмисні [2]. Якщо класифікувати та зробити висновки завад за впливом на радіолокаційні станції (РЛС) та їх походженням, то можна сказати, що ПЗ поділяють на імітувальні, маскувальні, природні та штучно створені.

Маскувальними називають завади, які створюють поле, фон якого ускладнює визначення корисного сигналу. Імітувальні ПЗ створюють позначки на екрані, які імітують корисну позначку і вводять в оману РЛС. Природними завадами є метеорологічні явища (сніг, туман, дощ і т.д.) а також зграї птиць, комахи, оптичні явища. Штучно створені перешкоди це ті, які використовуються навмисно для маскування важливих об'єктів. Для точнішого пояснення штучних завад розглянемо дипольні відбивачі.

Ці завади є найвідомішими штучними пастками, які застосовувалися ще за часів Другої світової війни. Це окремі відбиваючі елементи, такі як тонкі смужки алюмінію, шматки фольги, металізоване скловолокно або пластик, які знаходяться в протирадіолокаційних патронах, касетах, пачках.

Принцип роботи диполів полягає в тому, що при відстрілі патронів що наповнені відбивачами в повітря вони розлітаються і утворюють велику хмару, яка перекриває необхідну площу і кожен елемент відбиваючи сигнал на радарі виглядає як фальшива ціль, завдяки чому виявлення реальної цілі в межах її дії ускладнюється.

Такий вид пасивних перешкод може відрізнятися як вже було визначено матеріалом з якого виготовляються дипольні відбивачі, але крім цього вони також мають різну довжину, діаметр, ефективну площу розсіювання, масу, частотний діапазон та тип упаковки. Ці характеристики є основними при їх виготовленні та залежать від умов застосування. Кількість диполів може залежати від того, яку площу необхідно перекрити при розсіюванні, обмеження ємкості, в якій розміщені диполі, тривалість ефекту засліплення, погодні умови, які можуть впливати на швидкість осідання хмари дипольних відбивачів. Для наглядного прикладу використання дипольних відбивачів та принцип дії показані нижче (рисунок 1).

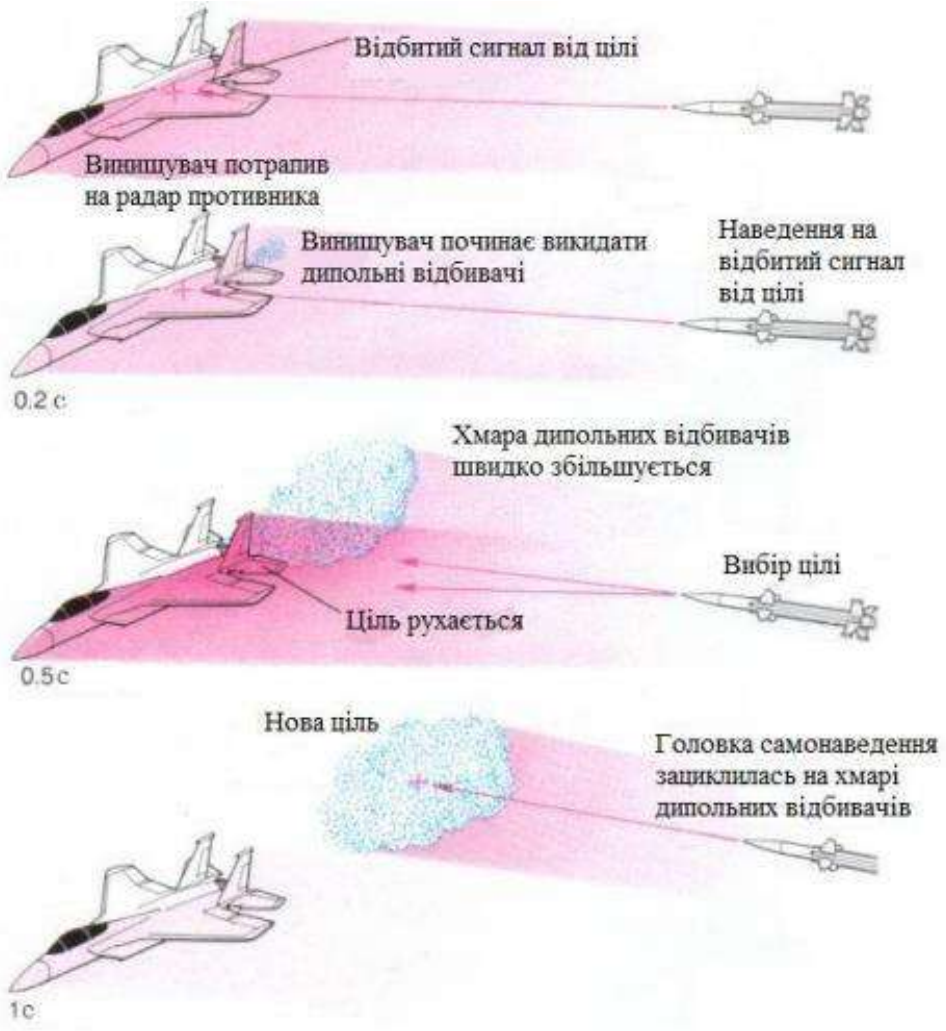


Рисунок 1: робота дипольних відбивачів під час повітряного бою
Джерело: [5].

Для того щоб робота такого виду пасивної завади була ефективною, важливою характеристикою є саме довжина смужки, які має дорівнювати рівно половині робочої хвилі ворожої РЛС. Оскільки відбиття від диполів є некогерентним, найефективніше протидіяти даним завадам на некогерентні імпульсні РЛС, які під час обробки сигналу не враховують доплерівський зсув частоти відбитих електромагнітних хвиль від цілі і хмари дипольних відбивачів. Результатом буде те, що на вході амплітудного детектора спектри сигналу від цілі і сигналу завади перекриваються і ускладнюють виявлення та селекцію цілі [5]. Сигнал який відбиватиме штучно створена хмара дипольних відбивачів повинна бути в декілька разів більша за корисний сигнал від цілі.

Таким чином аналізуючи вище зазначену інформацію можемо зауважити, що пасивні радіолокаційні завади залишаються дієвим засобом маскування. Одним з таких протирадіолокаційних пасток залишаються дипольні відбивачі, які формують хмару фальшивих відбиттів і ускладнює виявлення та ідентифікацію справжньої цілі. Зважаючи на тактичні та експлуатаційні особливості, роль дипольних відбивачів залишається важливою для досліджень та адаптації до сучасних систем.

Список використаних джерел:

1. Скоренький П. Є. Аналіз стану систем захисту літальних апаратів Повітряних Сил Збройних Сил України [Електронний ресурс] / П. Є. Скоренький // Ukrainian Military Pages. – 22 трав. 2017. – Режим доступу: https://www.ukrmilitary.com/2017/05/analysis-of-state-of-aircraft- protection-system.html (дата звернення: 01.11.2025).

2. Васюта К. С., Тесленко О. В., Купрій В. М., Малишев О. А. Основи побудови радіолокаційних засобів розвідки повітряного простору : конспект лекцій [Електронний ресурс] / К. С. Васюта, О. В. Тесленко, В. М. Купрій, О. А. Малишев ; Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – Харків, 2013. – 132 с. С. 132. Режим доступу:https://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/10414/1/Конспект_Лекцій_ОП_РЛЗ_РПП.pdf (дата звернення: 03.11.2025).

3. Мирчук С. Дипольний відбивач [Електронний ресурс] / Світлана Мирчук // Reporter .zp.ua. — 23 трав. 2024. — Режим доступу: https://reporter.zp.ua/dipolnij-vidbivach-wnq.html (дата звернення: 03.11.2025).

4. Дипольний відбивач [Електронний ресурс] // Вікіпедія. — Режим доступу:https://uk.wikipedia.org/wiki/Дипольний_відбивач (дата звернення: 03.11.2025)

5. Покоюк В.О. Дипольні відбивачі в системах радіоелектронної протидії : дипломна робота на здобуття ступеня бакалавра [Рукопис] / В.О. Покоюк ; Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського». – Київ, 2022. – С. 25–27.

6. Balleri A., Butters B. Measurements and analysis of the radar cross section of chaff dipoles [Електронний ресурс] / A. Balleri, B. Butters // IET Radar, Sonar & Navigation. — 2024. — Vol. 18, No. 11. — P. 2182–2188. — DOI: 10.1049/rsn2.12654. — Режим доступу: https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/rsn2.12654 (дата звернення: 04.11.2025).

Баранік Олексій Миколайович *– к.т.н., доцент, начальник кафедри комплексів авіаційного озброєння інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків, Україна, htpps://orcid.org/ 0000-0002-1499-7943, e-mail: kozaktur@i.ua*

Юрченко Валерія Олександрівна *– здобувач вищої освіти ступеня бакалавр кафедри комплексів авіаційного озброєння інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних сил імені Івана Кожедуба, м. Хакрів, https://orcid.org/0009-0004-1933-5086, e-mail: valerialera469@gmail.com, Сумська 77/79, 61023.*

Baranik Oleksii Mukolayovuch *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,, Head of the Department of Aviation Weapon Complexes of the Aviation Engineering Faculty Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, UA, htpps://orcid.org/ 0000-0002-1499-7943, e-mail: kozaktur@i.ua*

Yurchenko Valeriia Oleksandrivna *– bachelor's degree student of the Department of Aviation Weapons Complexes of the Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, UA, https://orcid.org/0009-0004-1933-5086, e-mail: valerialera469@gmail.com, Sumy 77/79, 61023.*

УДК 629.735.083.5

Гапонов О. В., Кємєнов А. О., Сочка А. І., Олійник О. М.

ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ НА ВІЙСЬКОВО-ТРАНСПОРТНИЙ ЛІТАК ТИПУ АН-26

Анотація. *У роботі розглядається доцільність та можливості впровадження автоматизованих систем діагностики технічного стану на військово-транспортний літак Ан-26. Проведено аналіз сучасних методів контролю стану авіаційних систем і агрегатів, визначено основні недоліки традиційного регламентного технічного обслуговування, зокрема його трудомісткість, високу ймовірність людського фактора та низьку оперативність реагування на відмови.*

Основну увагу приділено розробленню концепції інтегрованої автоматизованої діагностичної системи (АДС), яка здійснює моніторинг параметрів роботи двигунів, гідравлічних, електричних та паливних систем у режимі реального часу. Запропоновано структуру системи, що складається з модулів збору даних, інтелектуальних сенсорних вузлів, блоку аналітичної обробки та прогнозування технічного ресурсу.

Реалізація автоматизованої діагностики на літаках типу Ан-26 забезпечить підвищення рівня безпеки польотів, зниження кількості відмов у польоті, скорочення простоїв на технічне обслуговування та зменшення експлуатаційних витрат. Застосування АДС також дозволяє проводити перехід до стан-орієнтованого обслуговування (Condition-Based Maintenance), що відповідає сучасним міжнародним практикам авіаційної інженерії.

Проведене дослідження свідчить, що впровадження автоматизованих діагностичних систем є стратегічно важливим напрямком модернізації авіаційного парку Повітряних Сил Збройних Сил України. Це сприятиме підвищенню надійності техніки, оперативності виконання завдань і подовженню життєвого циклу літаків.

Ключові слова: *Ан-26, автоматизована діагностика, моніторинг технічного стану, надійність, авіаційна безпека, експлуатація.*

Abstract. *The paper examines the feasibility and rationale for implementing automated diagnostic systems for the An-26 military transport aircraft. Existing maintenance approaches are analyzed, and their limitations are identified, including high labor intensity, human error, and low responsiveness to technical failures.*

A concept of an integrated Automated Diagnostic System (ADS) for real-time monitoring of the aircraft's powerplant, hydraulic, electrical, and fuel systems is proposed. The structure of the system includes data acquisition modules, intelligent sensors, an analytical processing unit, and a technical resource prediction block.

Implementation of such systems will improve flight safety, reduce in-flight failures, minimize maintenance downtime, and lower operational costs. It also enables a shift toward condition-based maintenance in line with modern global aviation standards.

The proposed modernization will increase reliability, operational efficiency, and extend the service life of Ukrainian Air Force aircraft.

Key words: *An-26, automated diagnostics, condition monitoring, reliability, aviation safety, maintenance.*

У сучасних умовах ведення бойових дій та зростання технічних вимог до експлуатації авіаційної техніки, особливо військово-транспортної авіації, виникає потреба в підвищенні ефективності технічного обслуговування і діагностики. Одним із шляхів досягнення цієї мети є впровадження автоматизованих діагностичних систем (АДС), які здатні оперативно визначати технічний стан елементів літального апарата, мінімізувати людський фактор і підвищити рівень безпеки польотів.

Військово-транспортний літак Ан-26 є одним із найпоширеніших типів літаків в Повітряних Силах України, а також у збройних силах інших країн. Незважаючи на надійність конструкції, літак був розроблений у 60-70-х роках XX століття, і сьогодні актуальним є питання його модернізації, зокрема шляхом інтеграції новітніх систем контролю та діагностики.

Автоматизовані діагностичні системи дозволяють здійснювати моніторинг технічного стану в режимі реального часу, підвищують точність виявлення несправностей, скорочують час на пошук і усунення дефектів, а також зменшують витрати на технічне обслуговування.

Для досягнення поставленої мети пропонується зосередитися на кількох ключових напрямках:

1. **Інтеграція сучасних сенсорних систем.** Встановлення високочутливих датчиків тиску, температури, вібрації та акустичних коливань у критичних вузлах літака Ан-26 (двигуни, гідросистема, конструкційні елементи планера). Це дозволить формувати повну картину технічного стану в режимі реального часу.
2. **Розроблення програмно-аналітичного комплексу обробки даних.** Створення алгоритмів для збору, фільтрації та аналізу даних із сенсорів з використанням методів штучного інтелекту. Така система зможе прогнозувати виникнення відмов та попереджати екіпаж про потенційні несправності.
3. **Оптимізація технічного обслуговування за станом.** Перехід від регламентного до стан-орієнтованого технічного обслуговування (Condition-Based Maintenance, CBM), що дозволяє скоротити витрати, уникати передчасної заміни вузлів і підвищити ефективність експлуатації авіаційної техніки.
4. **Інформаційна інтеграція з існуючими системами управління.** Забезпечення взаємодії автоматизованої діагностичної системи з бортовими інформаційно-керуючими комплексами літака для централізованого контролю стану агрегатів та передачі діагностичних повідомлень на наземні пункти технічного обслуговування.
5. **Підготовка фахівців і адаптація технічної документації.** Організація навчання інженерно-технічного персоналу з експлуатації автоматизованих систем діагностики, а також оновлення експлуатаційно-технічної документації відповідно до нових вимог безпеки та стандартів НАТО.
6. **Пілотна експлуатація та дослідна модернізація.** Проведення етапного впровадження системи на окремих бортах Ан-26 з подальшим аналізом ефективності, точності виявлення дефектів та оцінкою економічного ефекту від впровадження.

Список використаних джерел:

1. Володько А.М., Литвинов А.Л. Конструкція літальних апаратів. — Харків: ВВІА, 1984.

2. Ю. В. Ключников О. Т. Сердітов В. Л. Дубнюк/ Авіаційні матеріали та їх технології

3. ICAO Annex 19 to the Convention on International Civil Aviation — Safety ManagemeICAO Annex 19 to the Convention on International Civil Aviation — Safety ManagementВидання: 2nd Edition, 2016nt Видання: 2nd Edition, 2016

4. Сторінка “Safety” на офіційному сайті ICAO

5. Літак Ан-26. Керівництво з технічної експлуатації. — К.: ДП «Антонов», 2009.

6. Health and Usage Monitoring Systems (HUMS) for Aircraft — Technical Overview. — SAE International, 2018.

7. Мельник С.В. Системи моніторингу технічного стану авіаційної техніки. — Київ: НАУ, 2021.

Гапонов Олександр Віталійович *– слухач інженерно-авіаційного факультету, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, sasha.gaponov17112003@gmail.com*

Кємєнов Андрій Олександрович *– слухач інженерно-авіаційного факультету, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, akemnov@gmail.com*

Сочка Андрій Іванович *– слухач інженерно-авіаційного факультету, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, andriysoch98@gmail.com*

Олійник Олег Миколайович – старший викладач, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Onik7474@gmail.com

Gaponov Oleksandr Vitaliyovych *– student of the Faculty of Aviation Engineering, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, sasha.gaponov17112003@gmail.com*

Andriy Oleksandrovych Kemenov *– student of the Faculty of Aviation Engineering, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, akemnov@gmail.com*

Andriy Ivanovych Sochka *– student of the Faculty of Aviation Engineering, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, andriysoch98@gmail.com*

Oleh Mykolayovych Oliynyk *– Senior Lecturer, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Onik7474@gmail.com*

УДК 629.735.45.083

Панкул О. М., Кравченко І. В., Алтухов М. В.

РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ БЕЗВІДМОВНОСТІ РОБОТИ ГОЛОВНОГО РЕДУКТОРА ВЕРТОЛЬОТА МІ-8МСБ

Анотація. *У роботі досліджено основні відмови головного редуктора ВР-17МС вертольота Мі-8МСБ, а метою є розробка комплексу заходів для підвищення його безвідмовності та ресурсу. Запропоновано три ключові напрямки модернізації. Також наголошено на застосуванні самофлюсуючих гранульованих порошків для зміцнення та відновлення зубчастих коліс. Впровадження цих розробок прогнозовано забезпечить суттєве зниження ризику критичних відмов.*

Ключові слова*: головний редуктор (ВР-17МС), безвідмовність, система змащення, модернізація редуктора, триботехніка, товщина мастильного шару, еластогідродинамічне змащення, відмови зубчастих передач, самофлюсуючі порошки.*

Abstract. *The paper investigates the main failures of the main gearbox VR-17MS of the Mi-8MSB helicopter, and the goal is to develop a set of measures to increase its reliability and resource. Three key areas of modernization are proposed. It also emphasizes the use of self-fluxing granular powders for strengthening and restoring gears. The implementation of these developments is predicted to significantly reduce the risk of critical failures.*

Keywords: *main gearbox (VR-17MS), reliability, lubrication system, gearbox modernization, tribology, lubricating film thickness, elastohydrodynamic lubrication, gear failures, self-fluxing powders.*

Ефективна експлуатація вертольотів типу Мі-8МСБ, що виконують завдання різної складності, критично залежить від безвідмовності головного редуктора ВР-17МС. Цей головний редуктор досить добре себе зарекомендувала в різних умовах експлуатації, але на сьогоднішній день є перелік недоліків які зменшують його надійність тим паче в умовах бойових дій. Наприклад як:

- механічні пошкодження зубчастих передач (знос, викришування, заїдання)
- руйнування підшипників
- протікання масла
- руйнування шліцьових з’єднань
- вібраційні перевантаження

Виходячи з цього переліку можна привести ряд розробок по покращенню безвідмовності.

Конструктивний напрямок :

1-оптимізація геометрії зубів тобто модифікація профілю яка полягає в зниженні контактних напружень

2-застосування покриттів на основі нітриду титану або іонного азотування задля підвищення зносостійкості

3-використання покращених підшипників із підвищеним класом точності

Технологічний напрям :

1-поліпшення чистоти масляних каналів тобто контроль фільтрації масла 10-25 мікрометрів, також сюди можна віднести використання мастил типу MIL-L-23699 чи MIL-L-7808 стабільних до 180 градусів

2-підвищення точності центрування при складанні редуктора

3-балансування валів і ротора редуктора після кожного ремонту

Експлуатаційно-технічний :

1-Впровадження системи моніторингу стану масла FerroScan або Spectroil- це контроль за наявністю частинок металу також сюди можна та потрібно віднести використання аналізу відпрацьованого масла для раннього виявлення дефектів

2-внесення змін до карти технічного обслуговування таких як ТО-100 та ТО-200 для додаткової перевірки температурного режиму головного редуктора

3-регулярна віброконтрольна діагностика, наприклад через кожні 50 годин нальоту.

Так як сумарний відсоток по відмовам припадає на систему змащення. Ця система є досить головна для головного редуктора, бо виконує роль змащення всіх підшипників та інших деталей. Тому можна запропонувати програмно–апаратний комплекс для оцінки триботехнічних характеристик в лінійному контакті, який в реальному часі фіксує вихідні сигнали, обробляє їх (програмне забезпечення ProfiLab), аналізує та представляє їх в графічному і табличному зображенні - кінетику зміни товщини мастильного шару, моменту тертя, температури мастильного матеріалу, частоту обертання дослідних зразків.

Також можна застосувати покриття самофлюсуючого гранульованого порошку ПГ–АН9 та порошкового дроту ПП–Нп–30ХГСА для оптимізації технологічних процесів нанесення покриттів при виготовленні та зміцненні, ремонті та відновленні зубчастих коліс та шестерень.

Список використарних джерел:

1. Мотор Січ. Офіційний сайт підприємства. Послуги з ремонту та модернізації вертольотів Мі-8 / Мі-17. URL: https://www.motorsich.com (https://www.motorsich.com/).
2. Главный редуктор ВР-14: эксплуатационная документация. – Київ: Мотор Січ, 2019. – 48 с.
3. Техническое обслуживание трансмиссии вертолета Ми-8: регламент и инструкции. – Харків: ДНДІА, 2020. – 72 с.
4. Руководство по эксплуатации вертолета Ми-8 / Ми-8МСБ. – Харків: Мотор Січ, 2018. – 256 с.
5. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації (DNDIA). – Харків, 2017–2021. – Випуски 1–5. – С. 34-78.
6. Форум авіамехаників та технічні обговорення Мі-8МСБ. – Практичні рекомендації щодо ТО та діагностики редуктора. URL: https://forum.aircraft-tech.com (https://forum.aircraft-tech.com/)
7. Главный редуктор ВР-14: эксплуатационная документация. – Київ: Мотор Січ, 2019. – 48 с.

Панкул Олександр Миколайович *– старший викладач кафедри інженерно-авіаційного забезпечення, e-mail: o.m.pankul@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків. ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-3005-0730 Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Кравченко Ігор Валерійович *– здобувач вищої освіти ступеня бакалавр кафедри інженерно-авіаційного забезпечення, e-mail:igorka20098@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Алтухов Максим Вікторович *– здобувач вищої освіти ступеня бакалавр кафедри інженерно-авіаційного забезпечення, e-mail: maxsim0909@gmail.com , Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Oleksandr Pankul *– Senior Lecturer, Department of Aviation Engineering, e-mail: o.m.pankul@gmail.com , Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv. ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-3005-0730 Kharkiv National University of Air Forces named after Ivan Kozhedub, Sumska 77/79, 61023.*

Igor Kravchenko *– higher education bachelor's degree student, Department of Engineering and Aviation Support, e-mail: igorka20098@gmail.com , Kharkiv National University of Air Forces named after Ivan Kozhedub, Kharkiv Kharkiv National University of Air Forces named after Ivan Kozhedub, Sumska 77/79, 61023.*

Maksym Altukhov *– higher education bachelor's degree student, Department of Engineering and Aviation Support, e-mail: maxsim0909@gmail.com , Kharkiv National University of Air Forces named after Ivan Kozhedub, Kharkiv Kharkiv National University of Air Forces named after Ivan Kozhedub, Sumska 77/79, 61023.*

УДК 629.7:681.5

Риб'як А. С., Ященок В. Ж., Корепанов В. В.

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ІНФРАЧЕРВОНИХ СИСТЕМ ПОШУКУ, СУПРОВОДУ ТА ЦІЛЕВКАЗАННЯ: ПЕРЕВАГИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Анотація. *Доповідь присвячена огляду сучасних інфрачервоних систем пошуку та супроводу IRST (Infrared Search and Track), що є невід'ємним елементом бортового обладнання бойових сучасних літаків. Проаналізовано конструктивні особливості та функціональні можливості контейнерних систем, які забезпечують пасивне виявлення повітряних цілей, підвищену стійкість до радіоелектронних завад та можливість інтеграції з різними типами літаків та безпілотними літальними апаратами. Особливу увагу приділено проблемі визначення дальності до цілі у пасивних IRST та аналізу перспективного рішення на основі багатопозиційної взаємодії контейнерів за методом триангуляції.*

Ключові слова: *інфрачервоні системи пошуку та супроводу; інфрачервоні системи переднього огляду; електрооптичні підвісні контейнери; триангуляція; авіаційні комплекси спостереження.*

Abstract: *The report is devoted to the review of modern infrared search and track (IRST) systems, which are an integral part of the onboard equipment of contemporary combat aircraft. The structural features and functional capabilities of pod-mounted systems that provide passive detection of aerial targets, enhanced resistance to electronic countermeasures, and integration with various types of aircraft and unmanned aerial vehicles are analyzed. Special attention is given to the problem of target range determination in passive IRST systems and to the analysis of a promising solution based on multiposition interaction of pods using the triangulation method.*

Keywords: infrared search and track systems; forward-looking infrared systems; electro-optical targeting pods; triangulation; airborne surveillance complexes.

Системи інфрачервоного пошуку та супроводу IRST (Infrared Search and Track) є невід'ємним елементом сучасних бойових літаків. Головною перевагою системи IRST є її пасивний принцип дії, що забезпечує приховане виявлення, супровід цілей за їхнім тепловим випромінюванням та стійкість до радіоелектронних завад. На багатьох літаках 4-го та 5-го поколінь система IRST інтегрована безпосередньо у конструкцію літака, основні зразки та характеристики цих систем розглядалися в попередній статті [1]. Водночас на деяких літаках, де конструктивні або експлуатаційні обмеження не дозволяють реалізувати внутрішню інтеграцію, застосовуються варіанти контейнерного типу, такі як:

Legion Pod від Lockheed Martin, універсальність та адаптивність конструкції якого забезпечує інтеграцію з різними типами літаків та БПЛА;

підвісний модуль OpenPod, який розроблений корпорацією Northrop Grumman, архітектура якого базується на контейнері AN/AAQ-28(V) Litening. Комплекс забезпечує розширений функціонал, включаючи прецизійне наведення та ефективну, швидкісну передачу даних [2]. OpenPod є універсальним для адаптації його на різні літаки.

Окрім підвісних контейнерів, що використовують технологію IRST, у складі сучасних багатоцільових літальних апаратів також широко застосовуються системи FLIR (Forward Looking Infrared, інфрачервоні системи переднього огляду). Такі контейнери призначені для формування високодеталізованого тепловізійного зображення місцевості у режимі реального часу та забезпечують ефективне спостереження, навігацію й цілевказання в умовах обмеженої видимості. Системи FLIR функціонують переважно в середньо- та довгохвильовому інфрачервоному діапазонах (3–5 мкм і 8–12 мкм), що дає змогу реалізувати високу чутливість до теплових контрастів і використовувати їх у складі прицільно-навігаційних комплексів. Серед найбільш поширених систем виділяється:

AN/AAQ-33 Sniper Advanced Targeting Pod, виробництва Lockheed Martin, який вирізняється здатністю автономного відстеження та визначення GPS-координат, контейнер

адаптований для широкого спектру літаків НАТО, включаючи F-16, Eurofighter Typhoon, Rafale, Mirage, FA-50, F-15 та F-18 [3];

AN/AAQ-28(V) LITENING – багатофункціональна інтегрована підвісна прицільна та навігаційна контейнерна система, розроблена спільно компаніями Rafael (Ізраїль) та Northrop Grumman (США). Модульна архітектура системи LITENING, забезпечує можливість її поетапної модернізації, що дозволяє ефективно адаптувати функціональні характеристики комплексу [4]. Комплекс оснащений високороздільною інфрачервоною (FLIR) та телевізійною CCD (Charged Coupled Device) камерами, а також лазерним далекоміром. Система LITENING може встановлюватися на широкий спектр бойових літаків, таких як, F-15E, F-16, F/A-18 Hornet, A-10 Thunderbolt II;

Підвісний модуль TALIOS (Targeting Long-range Identification Optronic System) це багатофункціональний електрооптичний модуль наведення, сумісний з різними видами бойових літаків, який оснащений середньохвильовим інфрачервоним тепловізором та кольоровими камерами для денного спостереження, розроблений французькою оборонною компанією Thales Group [5]. Контейнер поєднує передові системи візуалізації, що забезпечують підвищену ситуаційну обізнаність, високоточне наведення та збір розвідувальної інформації в умовах сучасних бойових дій.

Експлуатаційним обмеженням базової IRST-системи є те, що вона здатна точно визначати лише пеленг (кут) до цілі, але не її дальність [6]. Надання точних координат цілі вимагає розрахунку вказаних навігаційних параметрів, при чому дальність як правило визначається за допомогою активних систем, радіолокаційних або лазерних далекомірів, які нівелюють перевагу скритності. Рішення цієї проблеми полягає у використанні мережевої взаємодії (networking) між кількома носіями IRST. Застосування каналу передачі даних, безпосередньо інтегрованого у контейнер Legion Pod, дозволяє об’єднати два літаки-носії (F-15C або F/A-18E/F). Цей спосіб визначення координат ґрунтується на методі триангуляції, при якому: дві системи Legion Pod, які розташовані на різних літаках, одночасно отримують виміри кута (пеленгу) до однієї цілі; шляхом швидкого обміну даними через захищений канал зв’язку (data link) система майже миттєво обчислює тривимірну позицію цілі, надаючи пілоту необхідну інформацію про дальність.

В роботі було проведено огляд сучасних інфрачервоних систем пошуку та супроводу (IRST) та підвісних електрооптичних модулів, що застосовуються у складі бойових літаків. Показано, що головною перевагою систем IRST є їхній пасивний принцип дії, який забезпечує приховане виявлення повітряних цілей і стійкість до радіоелектронних завад. Розглянуто конструктивні особливості контейнерних систем Legion Pod, OpenPod, Sniper, LITENING і TALIOS, які демонструють універсальність інтеграції з різними типами літальних апаратів. Визначено, що розвиток таких систем спрямований на підвищення функціональної сумісності, модернізацію складових цих систем і розширення можливостей навігаційного та цілевказувального забезпечення. Особливу увагу приділено проблемі визначення дальності до цілі в пасивних системах IRST, що традиційно є обмеженням їхнього застосування. Розглянуто рішення у вигляді багатопозиційної взаємодії контейнерів Legion Pod, яка реалізує метод триангуляції для визначення просторових координат об’єкта без використання активних радіолокаційних засобів. Зазначено, що реалізація такого підходу забезпечує поєднання переваг пасивності та високої точності, що є перспективним напрямом розвитку авіаційних систем.

Список використаних джерел:

1. Ященок В.Ж., Корепанов В.В., Бекіров А.Е. Аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку бортових інфрачервоних систем пошуку та супровуду. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації.* 2022. №18 (25). С.68-73 https://doi:10.54858/dndia.2022-18-10.

2. SKYWARD: the next generation airborne infrared search and track // Infrared Technology and Applications XLII: Proceedings Volume 9819. Bellingham: SPIE, 2016. Paper 98190K. DOI: https://doi.org/10.1117/12.2229065.

3. Lockheed Martin. Sniper Advanced Targeting Pod. URL: https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/sniper.html (дата звернення: 01.11.2025).

4. Airforce Technology. Northrop Grumman to deliver Litening pod to USAF. URL: https://www.airforce-technology.com/news/northrop-grumman-to-deliver-litening-pod-to-usaf/?cf-view&cf-closed (дата звернення: 01.11.2025).

5. TWZ. Legion infrared search and track pods can now carry their own datalinks for more lethal targeting. URL:https://www.twz.com/40980/legion-infrared-search-and-track-pods-can-now-carry-their-own-datalinks-for-more-lethal-targeting?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 02.11.2025).

6. Newdick T. Legion Infrared Search And Track Pods Can Now Carry Their Own Datalinks For More Lethal Targeting. URL: https://www.twz.com/40980/legion-infrared-search-and-track-pods-can-now-carry-their-own-datalinks-for-more-lethal-targeting?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 02.11.2025).

Риб'як Анатолій Степанович *– кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, заступник начальника кафедри радіоелектронного обладнання літальних апаратів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: Anattoliy@meta.ua ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-7922-3690.*

Яценок Володимир Жоржевич *– кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: zhorzhevich71@ukr.net ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-7806-8078.*

Корепанов Василь В'ячеславович *– викладач кафедри радіоелектронного обладнання літальних апаратів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: korepanovvasiliy835@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0000-0003-2725-250X.*

Anatolii Rybiak *– PhD, Senior of Sciences, Deputy Head of the Department of Aircraft Radio-Electronic Equipment, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: Anattoliy@meta.ua ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-7922-3690.*

Vladimir Yachenok *– PhD, Associate Professor, Head of the Department of Aircraft and Engine Design and Strength, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: zhorzhevich71@ukr.net ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-7806-8078.*

Vasyl Korepanov *– Lecturer at the Department of Aircraft Radio-Electronic Equipment, Aviation Engineering Faculty, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: korepanovvasiliy835@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0000-0003-2725-250X.*

УДК [623.746.17:628.511](043.2)

Плешкунов С. А., Явор І. С.

РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ВЕРТОЛЬОТУ Ми-8

Анотація. *"РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ВЕРТОЛЬОТУ Ми-8" спрямована на аналіз відмов силової установки та підвищення надійності, що впливає на безпеку та ефективність польотів. Мета роботи- зниження відмов і підвищення надійності силової установки, що сприятиме безпеці авіації.*

Ключові слова: *підвищення надійності надійності, вдосконалення системи змащення, силова установка.*

Abstract. *"DEVELOPMENT OF MEASURES TO IMPROVE THE RELIABILITY OF THE POWER PLANT OF THE MI-8 HELICOPTER" is aimed at analyzing the failures of the power plant and increasing its reliability, which affects the safety and efficiency of flights. The purpose of the work is to reduce failures and increase the reliability of the power plant, which will contribute to aviation safety.*

Keywords: *increasing the reliability of reliability, improving the lubrication system, power plant.*

На сьогоднішній, під час відсічі збройної агресії, день вертольоти типу Ми-8 припадає виконання задач різної складності, якість котрих залежить від надійної роботи силової установки в скла котрої входить двигун ТВ3-117, який експлуатується в складних умовах військового часу та застосовувати надзвичайні у режими роботи двигуна. На даному вертольоті встановлена силова установка ТВ3-117, яка інтенсивно експлотується.

Тому метою роботи є розробка та впровадження заходів для підвищення надійності силової установки Ми-8 з урахуванням аналізу відмов.

Об'єкт дослідження є силова установка ТВ3-117 її характеристики та конструкційні особливості.

Предметом дослідження є відмови силової установки, причини їх виникнення та характеристики відмов.

Ця Силова установка досить добре себе зарекомендувала у різних умовах експлуатації, але аналіз відмов показує, що велика кількість їх пов'язана з системою змащування. (ПОЗНАЧЕННЯ ТАБЛ) навіть у сучасних умовах є перелік відмов які зменшують її надійність тим паче в умовах бойових дій. Наприклад як:

Причина відмови	Відсотки відмов	Характеристика
Проблеми системи змащення	32 %	Падіння тиску масла, витоки, перегрів підшипників ротора.
Відмова паливної системи	24 %	Пошкодження насосу-регулятора, форсунок, клапанів подачі палива.
Пошкодження компресора або турбіни	19 %	Втомне руйнування, потрапляння сторонніх тіл, перевищення температури.
Зношування редуктора або муфти вільного ходу	11 %	Викликає шум, нестабільність обертів, втрату потужності.

Людський фактор / техобслуговування	9 %	Помилки при регулюванні, затримка заміни компонентів.
Зовнішні чинники (пил, FOD, метео)	5 %	Ерозія компресора, падіння ефективності.

Виходячи з цієї таблиці, для покращення роботи системм змащування можна привезти ряд розробок по покращенню надійності.

Технічні: покращення заміна мастила, модернізація матеріалів лопаток, встановлення ЕНМ/СВМ систем моніторингу; дублювання критичних датчиків

Організаційні: перехід на техобслуговування на підставі стану (СВМ), навчання технічного персоналу, контроль якості запчастин.

Експлуатаційні: обмеження режимів у складних умовах, процедури передпольотних перевірок, правила заправки та зберігання палива.

Так як великий відсоток по відмовам припадає на систему змащення. Ця система є досить головна для силової установки, бо виконує роль змащення всіх підшипників та інших деталей. Тому можна запропонувати програмно–апаратний комплекс для оцінки триботехнічних характеристик в лінійному контакті, який в реальному часі фіксує вихідні сигнали, обробляє їх (програмне забезпечення ProfiLab), аналізує та представляє їх в графічному і табличному зображенні - кінетику зміни товщини мастильного шару, моменту тертя, температури мастильного матеріалу, частоту обертання дослідних зразків. Також можна застосувати покриття самофлюсуючого гранульованого порошку ПГ–АН9 та порошкового дроту ПП–Нп–30ХГСА для оптимізації технологічних процесів нанесення покриттів при виготовленні та зміцненні, ремонті та відновленні зубчастих коліс та шестерен.

Список використаних джерел:

1. Міждержавний авіаційний комітет (IAC Final Report, 2025).
2. Defence-UA: Аналітичний огляд інцидентів Mi-8/ТВ3-117 (2025).
3. RFE/RL, Kyiv Independent — новинні повідомлення про аварії Mi-8 (2024).
4. AP News, Pakistan MOD Preliminary Report (2024).
5. Журнал «Авіаційна та ракетно-космічна техніка», №3 (2024).
6. ВАТ «Климов» — технічний опис та довідник по двигунах ТВ3-117, 2020.
7. МАУП: Матеріали конференції «Актуальні проблеми експлуатації авіаційних двигунів», 2023.
8. Дисертація «СТРУКТУРНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА РЕОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ МАСТИЛЬНОГО ШАРУ В КОНТАКТІ ТЕРТЯ В УМОВАХ НЕСТАЛИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ»- Мікосянчик Оксана Олександрівна

Плешкунов Сергій Анатолійович *– старший викладач кафедри інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба; Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна; email: pleshkunov70@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0733-4535.*

Явор Іван Сергійович *– слухач інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних сил ім. І. Кожедуба; Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків Україна;Email: sergeitabor@gmail.com .*

Serhii Pleshkunov Anatolyevich *– senior lecturer of the department Faculty of Aviation Engineering of Kharkiv National University of the Air Force. I. Kozhedub; Kharkiv National University of the Air Force. I. Kozheduba, Kharkiv, Ukraine;*

email: *pleshkunov70@ukr.net* ***; ORCID:*** *https://orcid.org/0000-0002-0733-4535.*

Yavor Ivan Sergiyevich– *a student of the Faculty of Aviation Engineering of the Kharkiv National University of the Air Force. I. Kozhedub; Kharkiv National University of the Air Force. I. Kozheduba, Kharkiv, Ukraine; email:. sergeitabor@gmail.com*

УДК 629.735.083.5(043.2)

Сочка А. І., Гапонов О. В., Кємєнов А. О., Олійник О. М.

ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКУ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація. *У роботі розглянуто концепцію застосування технологій штучного інтелекту (ШІ) у системах контролю та діагностики технічного стану літальних апаратів. Проаналізовано сучасні підходи до моніторингу стану авіаційних систем, визначено їхні обмеження та потенціал використання інтелектуальних алгоритмів. Основна увага приділена розробленню архітектури інтелектуальної діагностичної системи, що поєднує машинне навчання, нейронні мережі та методи прогнозування для виявлення прихованих дефектів, оптимізації технічного обслуговування та підвищення безпеки польотів.*

Застосування ШІ дозволяє здійснювати аналіз великих масивів даних від сенсорів у режимі реального часу, автоматично розпізнавати аномалії, формувати рекомендації для інженерно-технічного складу та прогнозувати ймовірність відмов елементів. Це сприятиме переходу до стан-орієнтованого технічного обслуговування (CBM) і зниженню експлуатаційних витрат.

Впровадження інтелектуальних систем контролю в авіації є ключовим напрямом цифрової трансформації Повітряних Сил України, що забезпечить підвищення ефективності управління авіаційною технікою, зменшення впливу людського фактора та продовження ресурсу експлуатації літальних апаратів.

Ключові слова: *штучний інтелект, діагностика, моніторинг, машинне навчання, авіаційна техніка, технічне обслуговування.*

Abstract. *The paper explores the integration of Artificial Intelligence (AI) technologies in the control and diagnostics of aircraft systems. Modern approaches to condition monitoring are analyzed, and the potential of AI for predictive maintenance and fault detection is outlined. The proposed system architecture combines machine learning, neural networks, and predictive algorithms to detect hidden defects, enhance safety, and optimize aircraft maintenance.*

AI-based diagnostic systems enable real-time data analysis, automatic anomaly detection, and generation of recommendations for maintenance personnel. Implementation of such technologies supports the transition to Condition-Based Maintenance (CBM), reducing operational costs and improving reliability.

Integrating AI into aircraft control and diagnostic systems is a crucial step toward digital transformation of the Ukrainian Air Force, increasing safety, efficiency, and extending aircraft service life.

Key words: *Artificial Intelligence, diagnostics, monitoring, machine learning, aviation engineering, maintenance.*

Список використаних джерел:

1. Health and Usage Monitoring Systems (HUMS) for Aircraft — SAE International, 2018.

2. ICAO Annex 19 to the Convention on International Civil Aviation — Safety Management, 2nd Edition, 2016.

3. Мельник С.В. Системи моніторингу технічного стану авіаційної техніки. — Київ: НАУ, 2021.

4. Zhang Y., et al. AI-Based Fault Diagnosis in Aerospace Systems. — IEEE Aerospace Journal, 2022.

5. Li H., Chen W. Neural Network Approaches for Aircraft Predictive Maintenance. — Springer, 2020.

Сочка Андрій Іванович *– слухач інженерно-авіаційного факультету, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, andriysoch98@gmail.com*

Гапонов Олександр Віталійович *– слухач інженерно-авіаційного факультету, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, sasha.gaponov17112003@gmail.com*

Кємєнов Андрій Олександрович *– слухач інженерно-авіаційного факультету, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, akemnov@gmail.com*

Олійник Олег Миколайович *– старший викладач, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Onik7474@gmail.com*

Andriy Ivanovych Sochka *– student of the Faculty of Aviation Engineering, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, andriysoch98@gmail.com*

Gaponov Oleksandr Vitaliyovych *– student of the Faculty of Aviation Engineering, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, sasha.gaponov17112003@gmail.com*

Andriy Oleksandrovych Kemenov *– student of the Faculty of Aviation Engineering, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, akemnov@gmail.com*

Oleh Mykolayovych Oliynyk *– Senior Lecturer, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Onik7474@gmail.com*

УДК 629.33

Бойков І. В., Богатов О. І.

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРАДИЦІЙНИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

***Анотація**. Роль автомобільного транспорту та проблема його внутрішньої безпеки. Актуальні проблеми експлуатації акумуляторів у автомобільній техніці. Пропозиція щодо вирішення питання використання безпечних сучасних акумуляторних батарей.*

***Ключові слова**: Автомобильный транспорт, акумуляторна батарея, безпека, експлуатація.*

***Abstract**. The role of road transport and the problem of its internal security. Current problems of battery operation in automotive technology. Proposal for solving the issue of using safe modern batteries.*

***Keywords**: Automobile transport, battery, safety, operation.*

Вступ

Автомобильный транспорт является одной из ключевых характеристик развития любой Автомобільний транспорт є одним із ключових характеристик розвитку будь-якої країни. Його роль виходить далеко за рамки звичайного переміщення. Автомобільний транспорт забезпечує безперебійний рух пасажирських та товарно-матеріальних потоків, що є критично важливим для економіки, логістики та інфраструктури. Більше того, автомобільний транспорт відіграє важливу роль у функціонуванні та розвитку військової техніки, екстрених служб, транспорту для гуманітарних та соціальних завдань.

Незважаючи на його незаперечну важливість, автомобіль по своїй суті залишається транспортним засобом підвищеної небезпеки. Зазвичай підкреслюється зовнішня небезпека – пов'язана з дорожньо-транспортними пригодами, зіткненнями, перекиданням та ін. Однак автомобіль несе в собі і внутрішню небезпеку – конструкцію, що його породжує, комплектуючі, використовувані матеріали, системи харчування та експлуатаційні умови. Ця внутрішня небезпека може виявлятися в різних аспектах: наприклад, у застосуванні ненадійних або шкідливих матеріалів у конструкції транспортного засобу, недостатньому захисті вузлів, слабкій стійкості систем в аварійних ситуаціях та пожежах. Усе це порушує питання необхідності перегляду підходів до вибору комплектуючих – передусім акумуляторів – з метою підвищення загальної безпеки експлуатації транспортних засобів.

1. Проблема традиційних акумуляторних батарей та їх вплив на безпеку

1.1. Екологічні та хімічні ризики свинцево-кислотних акумуляторів

Переважна більшість автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ), як і раніше, оснащені традиційними акумуляторами – найчастіше свинцево-кислотними. Ці батареї є джерелом пуску двигуна, живлення бортової електроніки та ін. Проте проблема таких батарей полягає в їх вкрай агресивному та токсичному складі. Вони містять значну кількість свинцю, сірчаної кислоти, ртуті, кадмію, діоксиду марганцю, літію (у деяких модифікаціях) та інших шкідливих речовин.

Використання таких сполук і кислот в акумуляторах негативно впливає на безпеку експлуатації автомобільного транспорту. У разі пошкодження корпусу, витоку електроліту, короткого замикання відбувається ризик ураження водія та пасажирів хімічними речовинами, корозії вузлів та деталей. Крім того, вони становлять пряму загрозу навколишньому середовищу при неправильній утилізації: токсичні компоненти можуть проникати у ґрунт, водо- та ґрунтові шари, викликати забруднення. Особливо гостро постає питання екологічного впливу даних токсичних компонентів у процесі виробництва, а й у процесі утилізації відпрацьованих батарей.

1.2. Акумуляторні батареї електромобілів

Перехід автомобільного транспорту на електромобілі є важливим кроком до зниження викидів CO_2 та забруднення повітря, але такий перехід породжує нові виклики в галузі безпеки

матеріалів, технологій та експлуатації. Акумуляторні батареї електромобілів засновані на сучасних технологіях, що включають літій-іонні, нікель-кадмієві, нікель-метал-гідридні та ін.

Зокрема, літій, який використовується в літій-іонних батареях, має високий енергетичний потенціал, але одночасно й підвищений ризик: схильність до займання, теплового розгону (thermal runaway) при пошкодженні або порушенні умов експлуатації, що робить такі акумулятори джерелом пожежо- та вибухонебезпечності. Наприклад, літій-іонні батареї можуть перегріватись при надмірному навантаженні, короткому замиканні або порушенні вентиляції, що посилює небезпеку. Тому одним із ключових напрямів підвищення безпеки автомобільного транспорту є пошук та використання екологічно безпечних та пожежо-вибухобезпечних матеріалів у конструкції акумуляторних батарей.

2. Натрієві акумулятори як перспективна та безпечна альтернатива

2.1. Принципово новий підхід: використання натрію

Одним із найбільш перспективних напрямків у виробництві нових акумуляторів є використання натрію (Na). Розробка та впровадження натрієвих батарей (наприклад, натрій-іонних) є реальним альтернативним шляхом, здатним забезпечити значно більш безпечний тип акумулятора. Такі акумулятори не тільки потенційно безпечніші, але й можуть бути значно дешевшими у виробництві, мають гарну ресурсну базу та перспективи довговічності. Наприклад, за даними виробників, натрій-іонні батареї демонструють більш стійку хімічну стійкість, меншу схильність до теплового розгінного стану та кращу безпеку при транспортуванні та утилізації.

2.2. Основні переваги натрієвих батарей

Переваги натрієвих батарей підтверджено дослідженнями [1–10] у цій галузі та за даними порівняння технологій можна представити на рис. 1.

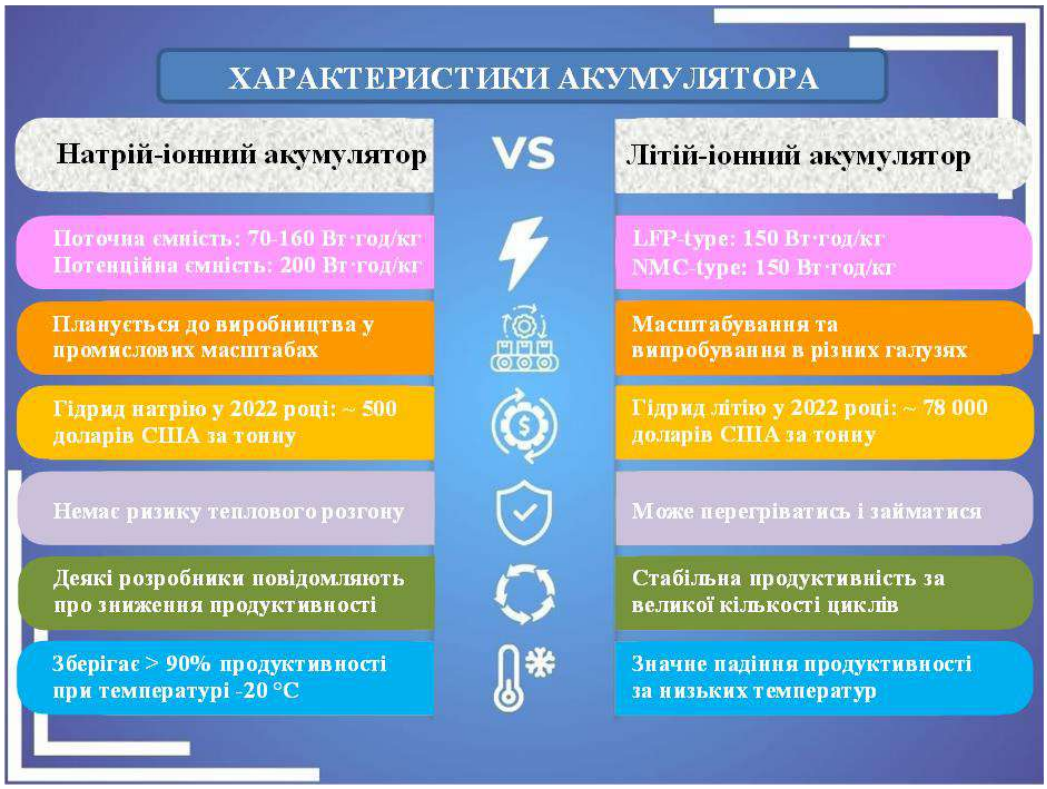


Рис. 1. Порівняльна таблиця технологій

Нижче наведено основні переваги натрієвих батарей, які роблять їх ідеальними кандидатами для забезпечення безпеки автомобільного транспорту:

1. Економічна ефективність (дешевизна).

Оскільки натрій значно частіше зустрічається в природі, сировина для натрієвих батарей доступніша і менша залежно від обмежених або геополітично чутливих ресурсів – ніж,

наприклад, літій. Це знижує собівартість виробництва та робить технологію більш економічно привабливою.

2. Довговічність та життєвий цикл.

Натрієві батареї демонструють видатну довговічність. У ряді заяв виробників вказується, що вони здатні прослужити до 20 років, витримують до 4000 циклів зарядки-розрядки, що значно знижує витрати на обслуговування та заміну, а також зменшує кількість відпрацьованих батарей, що підлягають утилізації.

3. Підвищена безпека та стійкість до умов експлуатації.

Натрієві батареї набагато безпечніші: вони менш схильні до теплового розгінного стану, їхня хімічна система вважається стабільнішою. Наприклад, матеріали, які використовуються в деяких натрій-іонних батареях (натрій, залізо, вуглець) набагато менш токсичні порівняно зі свинцем, кадмієм та ін.

4. Екологічна безпека.

Вони не отруюють навколишнє середовище так, як це роблять кислотні або свинцево-кислотні батареї. Знижується ризик потрапляння важких металів або агресивної сірчаної кислоти до навколишнього середовища.

5. Пожежно-вибухобезпека.

Відомо, що літій-іонні батареї при пошкодженні можуть спалахувати або навіть вибухати. Навпаки, натрієві батареї розглядаються як менш схильні до такого сценарію: вони мають меншу схильність до термічного розгінного стану та більшої стабільності.

6. Температурна стійкість.

Натрієві акумулятори мають унікальну здатність працювати в широкому діапазоні температур. За деякими заявами виробника, вони можуть ефективно функціонувати навіть за високої температури +70 °C і не бояться морозів, наприклад –40 °C, що робить їх ідеальними для експлуатації у різних кліматичних зонах (наприклад, холодних північних регіонах, а також у південних регіонах із підвищеною температурою). Це значно розширює географічну область безпечної експлуатації.

2.3. Обмеження та поточні проблеми натрієвих батарей

Звичайно, разом із перевагами існують і певні технічні та практичні обмеження. Наприклад, дослідження зазначає, що у розробці натрієвих батарей залишаються технічні бар'єри: перенесення іонів натрію менш ефективне порівняно з літієм при кімнатній температурі, що потребує вдосконалення електролітів та інтерфейсів матеріалу. Також важливо відзначити, що не всі натрієві технології автоматично безпечні: як показує посібник із поводження з літій- та натрій-іонними батареями, вони все ще можуть становити ризик пожежі або вибуху за певних умов (пошкодження, перегрів, коротке замикання). Тому перехід до натрієвих батарей потребує комплексного підходу: вибір матеріалів, конструкція, система управління, безпечна експлуатація та утилізація.

2.4. Практичне застосування та рекомендації натрієвих батарей

Щоб використання сучасних безпечних акумуляторів реально підвищило безпеку автомобільного транспорту, варто звернути увагу на наступні практичні рекомендації:

1. Вибір відповідної технології.

При проектуванні або закупівлі транспортних засобів враховувати можливість застосування натрієвих батарей, особливо у транспортних засобах, де питання безпеки та експлуатації у важких кліматичних умовах особливо актуальні (наприклад, спецтехніка, автомобілі швидкої допомоги, транспорт у північних та південних регіонах).

2. Інтеграція системи керування акумулятором (BMS).

Навіть при більш безпечній експлуатації натрієвих батарей потрібна надійна система управління: моніторинг температури, стану заряду, балансування осередків, захист від перегріву та короткого замикання.

3. Забезпечення умов експлуатації.

Важливо дотримуватись температурних режимів, правил експлуатації, враховувати можливість пошкоджень. Хоча натрієві батареї менш схильні до екстремальних умов, вони не безмежні за стійкістю.

4. Забезпечення безпечного транспортування та утилізації.

Нові правила та класифікації передбачають окрему ідентифікацію та упаковку натрій-іонних батарей під час транспортування. Наприклад, введено окремі номери CH (United Nations Economic Commission for Europe / ADR 2025) для натрій-іонних батарей: UN 3551 та UN 3552. Це означає, що необхідно враховувати вимоги до маркування, пакування та безпечного поводження.

5. Оцінка економічної доцільності.

Враховуючи зниження вартості сировини та тривалий ресурс, натрієві батареї можуть забезпечити зниження загальних витрат експлуатації (служби, заміни) та зменшити екологічне навантаження. Це слід зважати на інвестиційні рішення.

6. Навчання обслуговуючого персоналу.

Важливо навчати механіків, сервіс-центрів та користувачів особливостям нових технологій: специфіці натрієвих акумуляторів, можливим сценаріям відмов, правильному поводженню з батареями та їх безпечній утилізації.

Висновок

Використання безпечних сучасних акумуляторів є не просто бажаною, а необхідною умовою подальшого розвитку автомобільного транспорту. Нинішні технології, зокрема свинцево-кислотні та літій-іонні елементи, несуть у собі значні ризики, пов'язані з токсичністю, хімічною агресивністю, пожежонебезпечністю та складністю утилізації.

У той самий час використання натрієвих акумуляторів (натрій-іонні та інших.) є нове досягнення, яке демонструє готовність акумуляторної промисловості до забезпечення безпечних і стійких транспортних рішень. Ця технологія пропонує реальний альтернативний шлях, який не тільки вирішує завдання безпеки, але й перевершує існуючі кислотні та літій-іонні технології за деякими ключовими критеріями: вартістю, довговічністю, екологічністю та температурною стійкістю.

Перехід на натрієві батареї (у поєднанні з грамотною системою управління, безпечною експлуатацією та відповідальним поводженням з ресурсом) забезпечить безпечнішу експлуатацію транспортних засобів та знизить екологічне навантаження, пов'язане з токсичними компонентами, виробництвом та утилізацією батарей.

Зрештою, безпечний акумулятор – це не просто технічний засіб, а важливий елемент загальної безпеки транспортної системи, захист життя людей, зниження ризиків та забезпечення сталого розвитку автомобільного транспорту як частини інфраструктури суспільства.

Список використаних джерел:

1. Інновації у світі акумуляторних технологій: нові тенденції та розробки. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://vinur.com.ua/ua/aboutus/usefull-info/articles/innovaciyi-u-sviti-akumulyatornyh-tehnologij-novi-tendenciyi-ta-rozrobky

2. Krampf, Sam (29 січня 2024). China’s Groundbreaking 100MWh Sodium-ion BESS. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://sodiumbatteryhub.com/2024/01/29/china-hubei-sodium-ion-100mwh-bess/

3. Krampf, Sam (13 жовтня 2024). CATL’s Sodium-Ion Battery Enables 500-km EV Range. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://sodiumbatteryhub.com/2025/10/13/catls-sodium-ion-battery-enables-500-km-ev-range/

4. New Regulations for Sodium Batteries. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.igaircargo.ch/new-regulations-for-sodium-batteries/

5. All Charged Up: Power Batteries Shaping the Future of Electric Mobility. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://eureka.patsnap.com/blog/all-charged-up-power-batteries-shaping-the-future-of-electric-mobility/

6. Top 10 Battery Technologies Set to Disrupt the Market. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://eureka.patsnap.com/blog/top-10-battery-technologies-for-the-future/

7. Are sodium-ion batteries the solution for EVs? [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.innovationnewsnetwork.com/are-sodium-ion-batteries-the-solution-for-evs/44177/

8. How Sodium Batteries Will Transform Car Batteries. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://sodiumbatteryhub.com/2024/09/10/the-future-of-car-batteries-how-sodium-batteries-will-transform-the-industry/

9. Екологічний аспект використання акумуляторних батарей: переробка та утилізація. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://vinur.com.ua/ua/aboutus/usefull-info/articles/ekologichnyj-aspekt-vykorystannya-akumulyatornyh-batarej-pererobka-ta-utylizaciya

10. Екологічні аспекти використання та утилізації акумуляторів. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://fpower.com.ua/ekolohichni-aspekty-vykorystannia-ta-utylizatsii-akumuliatoriv/

Бойков Ігор Валентинович – *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, буд. 25, інд. 61002, e-mail: boykovigor64.hnady@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-9659-9681*

Богатов Олег Ігорович – *кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник, завідувач кафедри метрології та безпеки життєдіяльності Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, буд. 25, інд. 61002, e-mail: bogatovolegigor@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0001-7342-7556*

Igor Valentinovych Boikov – *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Metrology and Safety of Human Vital Activities, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Yaroslava Mudryho St., Building 25, Ind. 61002, e-mail: boykovigor64.hnady@gmail.com ORCID orcid.org/0000-0002-9659-9681*

Oleg Igorovich Bogatov – *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Head of the Department of Metrology and Safety of Human Vital Activities, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Yaroslava Mudryho St., Building 25, Ind. 61002, e-mail: bogatovolegigor@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0001-7342-7556*

УДК 629.3(043)

Бусилко О. А., Вахнюк С. А., Маковецький В. В.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ЗМІННОГО СТРУМУ АПА-5Д ЗА РАХУНОК ВСТАНОВЛЕННЯ НОВІТНІХ ПРИЛАДІВ БЕЗПЕРЕРВНОГО КОНТРОЛЮ ПРИ ВИКОНАННІ ЗАВДАННЯ

Анотація. *У роботі досліджується підвищення надійності аеродромно-пересувного агрегату АПА-5Д шляхом удосконалення системи діагностики частоти змінного струму генератора ГТ40ПЧ6. Запропоновано використання тахогенератора та вимірювальних приладів для більш точного контролю частоти. Це рішення дозволяє зменшити ризик відмов під час обслуговування повітряних суден, продовжити ресурс генератора та покращити економічну ефективність експлуатації агрегату.*

Ключові слова: *аеродромно пересувний електроагрегат, генератор змінного струму, система діагностики, частота струму, автоматичне регулювання.*

Abstract. *The paper investigates the improvement of the reliability of the APA-5D airfield mobile unit by improving the AC frequency diagnostic system of the GT40PCH6 generator. The use of a tachogenerator and measuring instruments for more accurate frequency control is proposed. This solution reduces the risk of failures during aircraft maintenance, extends the generator's service life, and improves the economic efficiency of the unit's operation.*

Keywords: *airfield mobile power unit, alternating current generator, diagnostic system, current frequency, automatic regulation.*

Для живлення бортових електричних мереж літальних апаратів і електростартерного запуску авіаційних двигунів. застосовують авіаційні пересувні електроагрегати.

Обладнання авіаційних пересувних електроагрегатів (АПА) монтується на автомобільних базових шасі. В якості силових установок для приводу генераторів постійного і змінного струму використовують двигуни внутрішнього згорання. Розрізняють електроагрегати з приводом генераторів від двигуна базового шасі автомобіля (АПА-5Д), а також від додаткового дизельного двигуна, встановленого в кузові установки (АПА-50М, АПА-80, АПА-100). В склад АПА входять також пристрої, що забезпечують автоматичне регулювання напруги генераторів, частоти змінного струму, захист джерел та споживачів від перевантаження, короткого замкнення, аварійного відхилення напруги і частоти змінного струму, а також комутаційна апаратура, трансформатори і випрямляючі пристрої.

Підвищення якості проектування, виготовлення і експлуатації аеродромних пересувних електроагрегатів є основним напрямом забезпечення їх надійності. Припинення постачання електроенергії під час технічного обслуговування повітряних суден завдяки некоректної роботи системи автоматичного регулювання частоти струму вкрай небажане.

Практика використання АПА-5Д в ході виконання бойових завдань свідчить про те, що причинами стрибків частоти змінного струму можуть бути зовнішні збурювання - негаразди з паливною апаратурою двигуна, відхилення параметрів палива, температура дизельного двигуна, а також внутрішні причини - некоректна робота елементів системи автоматичного регулювання частоти – блоку БСЧ і виконавчих пристроїв РК-2Д.

Об’єктом дослідження являється аеродромно-пересувний агрегат АПА-5Д та системи діагностики частоти генератору змінного струму ГТ40ПЧ6. Метою дослідження являється розрахунок генератора змінного струму аеродромного пересувного агрегату, що застосовується у вдосконаленні системи діагностики частоти генератора змінного струму.

Удосконалення частоти діагностики змінного струму за допомогою встановлення тахогенератора та приладів, що дають змогу точніше відмітити та виміряти частоту до потрібних норм. Ця система являється новою та ще не застосовувалась на агрегаті, але було б дуже доцільно з точки зору тактико- технічних даних. В практичному застосуванні було б легкою в обслуговуванні та не висувало до себе високих вимог в період експлуатації, а лише в строки ТО обслуговування базового двигуна, який являється приводом електроагрегату.

При застосуванні нової системи діагностики частоти, збільшувався б строк експлуатації генератора та зчеплення автомобіля, що економічно вигідніше попередніх зразків.

Список використаних джерел:

1. Курман М.М. «Розрахунок та конструкція електричних машин» 2001р.
2. Експлуатація автомобілів та засобів аеродромно – технічного забезпечення польотів-Х, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, 2015
3. ВВ.Кав'юк, В.М.Краснокутський, О.А.Бусилко, О.М.Леоненко "ТЕХНІКА АЕРОПОРТІВ" частина 2, Харків, 2021.

Бусилко Олег Анатолійович – старший викладач кафедри № 205, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, email: obusilko@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0009-0007-9642-9870

Вахнюк Сергій Анатолійович – старший викладач кафедри № 205, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків; email: vakhniuk.ser@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0003-3584-7730

Маковецький Володимир Володимирович – слухач штатний, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків; email: makovetskyi.vova@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0009-0000-4432-4697

Busilko Oleg Anatoliyovych – senior lecturer at Department № 205, Kharkiv National University of Air Forces named after I. Kozhedub, Kharkiv email: obusilko@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0009-0007-9642-9870

Vakhnuk Serhii Anatoliiovych – senior lecturer at Department № 205, Kharkiv National University of Air Forces named after I. Kozhedub, Kharkiv email: vakhniuk.ser@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0003-3584-7730

Makovetskyi Volodymyr Volodymyrovych – full-time student, Kharkiv National University of Air Forces named after I. Kozhedub, Kharkiv; email: makovetskyi.vova@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0009-0000-4432-4697

УДК 662-1/-9

Бусилко О. А., Вахнюк С. А., Борець М. А.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ТА РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ЙОГО ВПРОВАДЖЕННЯ

Анотація. *У роботі досліджується можливість застосування методів технічного діагностування двигунів внутрішнього згорання на основі газоаналізу для підвищення ефективності контролю їх технічного стану. Робота спрямована на визначення взаємозв'язку між складом відпрацьованих і картерних газів та технічними параметрами двигуна, що дозволяє своєчасно виявляти несправності без розбирання агрегатів. Реалізація поставленої мети сприятиме вдосконаленню технологій технічного обслуговування автомобільної техніки та забезпеченню її надійної експлуатації в різних умовах.*

Ключові слова: *газоаналіз, двигуни внутрішнього згорання, система діагностики, комплексний контроль,система техніного обслуговування.*

Abstract. *The paper investigates the possibility of using technical diagnostic methods for internal combustion engines based on gas analysis to improve the efficiency of monitoring their technical condition. The work aims to determine the relationship between the composition of exhaust and crankcase gases and the technical parameters of the engine, which allows for the timely detection of malfunctions without dismantling the units. The achievement of this goal will contribute to the improvement of automotive maintenance technologies and ensure its reliable operation in various conditions.*

Keywords: *gas analysis, internal combustion engines, diagnostic system, comprehensive control, maintenance system..*

Актуальність теми пов'язана з необхідністю підвищення ефективності контролю технічного стану двигунів внутрішнього згорання автомобільної техніки, що використовується у Збройних Силах України. Надійність і безвідмовність роботи двигунів безпосередньо впливають на мобільність і боєздатність військових підрозділів. Застосування методів технічного діагностування на основі газоаналізу є перспективним напрямом удосконалення системи технічного обслуговування, оскільки дає змогу здійснювати неруйнівний і комплексний контроль стану двигуна, своєчасно виявляти відхилення в його роботі та запобігати раптовим відмовам, що забезпечує підвищення надійності й продовження ресурсу експлуатації автомобільної техніки.

Методи технічного діагностування двигунів внутрішнього згорання на основі газоаналізу забезпечують неруйнівний та комплексний контроль технічного стану двигуна, а також систем, що забезпечують його роботу.

Тому одним з напрямків подальшого вдосконалення методів оцінки технічного стану автомобільної техніки є впровадження в технологію обслуговування сучасних методів технічного діагностування.

В процесі експлуатації автомобільної техніки, суттєвим фактором необхідності контролю технічного стану двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) є підтримання та контроль надійності автомобіля, оскільки досвід російсько-Української війни і аналіз бойової та повсякденної діяльності військ в сучасних локальних війнах та конфліктах показує, що успішне виконання поставлених завдань залежить від маневреності і рухомості військ. Процес контролю технічного стану двигуна передбачає прийняття рішення, щодо технічного стану об'єкту вимірювання. Таким чином, процес контролю технічного стану двигуна в ході його експлуатації є процес проведення технічного діагностування. В роботі досліджено методи технічної діагностики двигунів, які застосовуються у військових підрозділах Збройних Сил. Розглядалися існуючі пункти технічної діагностики автомобільної техніки, основні показники надійності та заходи, які дозволяють підтримати надійність автомобільної техніки на належному рівні та спосіб оцінки те-

хнічного стану двигуна по витраті картерних газів та концентрації газових компонентів у складі відпрацьованих газів.

У результаті проведеного дослідження встановлено, що застосування методів технічного діагностування двигунів внутрішнього згорання на основі газоаналізу є ефективним засобом оцінки їх технічного стану без розбирання агрегатів. Аналіз складу відпрацьованих і картерних газів дає змогу своєчасно виявляти відхилення в роботі окремих систем двигуна, запобігати виникненню несправностей і скорочувати витрати на ремонт. Запровадження таких методів у практику технічного обслуговування автомобільної техніки підвищує її надійність, продовжує строк експлуатації та сприяє підвищенню бойової готовності військових підрозділів.

Список використаних джерел^

1. Ананьєв І.Г. Вентиляція картера двигунів внутрішнього згоряння./ Ананьєв І.Г. - М.: ЦИНТИМАШ, 1961.

2. Говорущенко Н.Я. Діагностика технічного стану автомобілів / Микола Я. Г. - Х.: Транспорт, 1970/

3. Дунаєв А.П. Організація діагностування при обслуговуванні автомобілів / Дунаєв А.П. - К.: Транспорт, 1987.

4. Молодан А.А. Оцінка технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна з урахуванням поділу потоків газів, що проходять в картер: автореф. дис. на здобуття наук, ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту»/А.А. Молодан.-Х., 2011р.

Бусилко Олег Анатолійович *– старший викладач кафедри № 205, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, email: obusilko@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0009-0007-9642-9870*

Вахнюк Сергій Анатолійович *– старший викладач кафедри № 205, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків; email: vakhniuk.ser@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0003-3584-7730*

Борець Максим Андрійович *– слухач штатний, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків; email: maksborec27@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0009-0005-4263-2799*

Busilko Oleg Anatoliyovych *– senior lecturer at Department № 205, Kharkiv National University of Air Forces named after I. Kozhedub, Kharkiv email: obusilko@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0009-0007-9642-9870*

Vakhnuk Serhii Anatoliiovych *– senior lecturer at Department № 205, Kharkiv National University of Air Forces named after I. Kozhedub, Kharkiv email: vakhniuk.ser@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0003-3584-7730*

Maksym Andriyovych Borets – *full-time student, I. Kozhedub National Air Force University, Kharkiv; email: maksborec27@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0009-0005-4263-2799*

УДК УДК 355.48

Трач І. П.

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ БОЙОВИХ ЗАВДАНЬ В ХОДІ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ

Анотація. *Доповідь присвячена узагальненню ключових тенденції використання сучасного озброєння та військової техніки підрозділами сектору безпеки й оборони України під час виконання службово-бойових і бойових завдань ході російсько-української війни. Проаналізовано розширення практики застосування безпілотних літальних апаратів, високоточної артилерії, систем активного захисту, мережево-центричних систем управління вогнем, комплексів протиповітряної оборони, засобів радіоелектронної боротьби, колісної бронетехніки, лазерних установок нелетального впливу, роботизованих платформ і сучасних засобів зв'язку.*

Встановлено, що кількість БпЛА, які перебувають на озброєнні українських частин, перевищила 2250 одиниць, з них близько третини виконують ударні функції. Це суттєво підвищило ефективність повітряної розвідки та коригування артилерійського вогню. Модернізація артилерійських систем із впровадженням керованих боєприпасів та ракетно-гарматних установок забезпечила точність ураження цілей у 80–90 % випадків із першого пострілу, а середня дальність вогню збільшилася до 30 км.

Окремо висвітлено інтеграцію систем активного захисту APS "Trophy" та "Arena" на танках T-72, T-80 і M1A1 Abrams, які продемонстрували понад 90 % ефективності у відбитті протитанкових ракет. Показано результати розвитку мережевих систем управління вогнем "Дельта" та FBCB2, що скоротили час реагування від моменту виявлення цілі до відкриття вогню з 12 до 4,5 хвилини. Значну увагу приділено комплексам протиповітряної оборони малої дальності — "Бук-М1", і NASAMS, які протягом року успішно відбили понад 280 авіаударів і 450 ракетних атак.

Окреслено перспективні напрями подальшого розвитку: удосконалення алгоритмів штучного інтелекту для підвищення ефективності високоточної зброї; створення автономних робототехнічних систем з розширеним комплексом сенсорів; розроблення засобів протидії гіперзвуковим крилатим ракетам; інтеграцію лазерних та радіочастотних нелетальних засобів у багатофункціональні мультисенсорні засоби.

Ключові слова*: безпілотні літальні апарати, високоточна артилерія, активний захист, мережеві системи управління вогнем, протиповітряна оборона.*

Abstract. *The report summarizes the key trends in the use of modern weapons and military equipment by units of Ukraine's security and defense sector during the performance of service-combat and combat missions in the course of the Russo-Ukrainian war. It analyzes the expanding use of unmanned aerial vehicles, precision artillery, active protection systems, network-centric fire control systems, air defense complexes, electronic warfare assets, wheeled armored vehicles, non-lethal laser systems, robotic platforms, and advanced communication means.*

It has been established that the number of UAVs in service with Ukrainian units exceeds 2,250, about one-third of which are employed for strike missions. This has significantly enhanced the effectiveness of aerial reconnaissance and artillery fire adjustment. The modernization of artillery units through the introduction of guided munitions and combined rocket-artillery systems has ensured 80–90 % first-shot accuracy, while the average firing range has increased to 30 km.

Special attention is given to the integration of active protection systems APS "Trophy" and "Arena" on T-72, T-80, and M1A1 Abrams tanks, which demonstrated over 90 % efficiency in intercepting anti-tank guided missiles. The development of network-based fire control systems "Varta" and FBCB2 reduced the response time from target detection to fire engagement from 12 minutes to 4.5 minutes. A detailed analysis is provided of air defense systems such as Buk-M1 and NASAMS, which successfully repelled more than 280 airstrikes and 450 missile attacks within a year.

The study outlines several promising directions for further development: enhancement of artificial intelligence algorithms to improve the effectiveness of precision weapons; creation of

autonomous robotic systems equipped with advanced sensor suites; development of counter-hypersonic defense measures; and integration of laser and radio-frequency non-lethal means into multifunctional multisensor platforms.

***Keywords**: unmanned aerial vehicles, precision artillery, active protection, network-centric fire control systems, air defense, electronic warfare.*

Вступ

У контексті повномасштабного збройного протистояння, яке триває між Росією та Україною, спостерігається істотне зростання ролі високотехнологічного озброєння та сучасної військової техніки у забезпеченні ефективності бойових дій. Новітні технології, зокрема автоматизовані системи управління вогнем, безпілотні літальні апарати, інтерактивні тренажери й засоби радіоелектронної боротьби, суттєво підвищують бойову результативність, зменшують ризики для особового складу та скорочують час реагування на засоби повітряного нападу противника.

Одночасно з цим, стрімкий розвиток військових технологій вимагає постійного оновлення тактико-технічних характеристик озброєння, удосконалення підходів до його використання. Попри значні інвестиції у модернізацію Збройних Сил та закупівлю передових зразків техніки, актуальними залишаються питання поєднання стандартів бойової підготовки, створення оптимальних бойових формувань з урахуванням можливостей високоточної зброї, а також забезпечення ефективної взаємодії між різними підрозділами й видами озброєнь.

Ці завдання потребують науково обґрунтованого аналізу й розробки практичних рекомендацій щодо інтеграції інноваційних технологій у структуру бойових операцій, що є вкрай важливим для збереження переваги на полі бою в умовах сучасної війни.

Метою роботи є дослідження сучасних тенденцій у застосуванні озброєння та військової техніки підрозділами сектору безпеки й оборони України під час виконання бойових завдань у ході російсько-української війни.

Результати дослідження

У сучасних умовах бойових дій спостерігається різке посилення ролі високотехнологічних рішень і нових зразків ОВТ, що радикально трансформує спосіб ведення війни. Компоненти оборонних сил усе активніше впроваджують засоби, спрямовані на підвищення точності ураження, оперативної мобільності, автономності систем та інформаційної переваги. Особлива увага приділяється безпілотним літальним апаратам, високоточній зброї, автоматизованим комплексам керування і цифровим технологіям, зокрема алгоритмам штучного інтелекту; одночасно зростає потреба в засобах кіберзахисту та боротьбі з дезінформацією, які стали невід'ємною частиною гібридних операцій.

За період із початку 2022 до середини 2025 року помітно зросла інтенсивність і різноманітність застосування сучасних видів озброєння. Особливо виразною є зменшення ролі класичних зразків ОВТ на користь безпілотних систем: станом на вересень 2025 року у складі українських підрозділів налічується близько 3 250 БпЛА різного призначення, серед яких понад 700 виконують розвідувальні функції і близько 950 застосовуються у ударних операціях; до 2024 року в експлуатацію введено близько 42 комплексів "Bayraktar TB2", що, за повідомленнями, сприяли ураженню понад 1 200 одиниць ворожої техніки [1].

Значні зміни відбулися й у артилерійських силах: питома вага керованих снарядів у боєзапасі зросла з приблизно 15 % (друга половина 2022 року) до близько 65 % на кінець 2024 року. Модернізація САУ 2С19 "Мста-С" для застосування лазерно-керованих снарядів ЛК-12 підвищила ймовірність ураження з першого пострілу на дистанціях до 25 км у понад 70 % випадків; схожі характеристики точності продемонстрували й західні платформи, наприклад M109A6 Paladin, батальйонні підрозділи яких виконували вогневі виходи з середньою точністю на рівні близько 2 м [2].

Мережеві системи управління вогнем і обміну даними стають базовою складовою операційної взаємодії. Так, впроваджена в ЗСУ система тактичного рівня "Дельта" об'єднала понад 1800 терміналів на взводному рівні та близько 200 командних пунктів, що скоротило середній час від виявлення цілі до приведення зброї у готовність з близько 12 хвилин у 2022 році

до приблизно 4,5 хвилини у 2024-му; для порівняння, аналогічні системи у ЗС США демонструють час реагування орієнтовно на рівні 3 хвилин[3].

Поєднання мобільних й стаціонарних засобів протиповітряної оборони робить систему більш адаптивною: на кінець 2024 року в українській системі ППО нараховувалося близько 18 дивізіонів ЗРК "Бук-М1", 12 пасивних РЛС малої помітності та близько 14 батарей мобільних ЗРГК "NASAMS", що дозволяє уражати цілі на дальностях до 40 км; у період з березня 2024 до березня 2025 року відбито понад 260 авіаударів і більше 400 ракетних атак з ліквідацією понад 180 повітряних засобів нападу противника[4].

Ефективність заходів електронної боротьби також зросла: у 2024 році кількість локаторів РТР та автоматизованих комплексів подавлення (наприклад "РтутьБМ") збільшилася приблизно на 45 %, а спеціалізовані засоби боротьби з дронами — типу "Кропива" та "Віраж-Планшет" — у понад 60 % випадків забезпечували примусову посадку або втрату керованості ворожих БпЛА. Західні партнери передали два батальйонні комплекси РЕБ "AN/MLQ-40" Suter, що інтегруються в ІТ-мережі й можуть одночасно подавляти до 15 каналів зв'язку[5].

Мобільність і технічна живучість платформ також зазнали змін: зростає частка колісної бронетехніки — у складі Сил територіальної оборони на початок 2025 року перебували близько 320 БТР-4Е, 190 модернізованих M113A3 і понад 240 польських SPAAG "Poprad". Завдяки впровадженню адаптивних систем контролю технічного стану інтервали між плановими ремонтами для BTR-4 зросли (завершилися у 2024 році на позначці близько 1800 км пробігу порівняно з 1400 км у 2022 році).

Значного поширення набули засоби для дистанційного нелетального впливу: установки типу "Лазурит" (постачання ~54 одиниці) застосовуються для засліплення оптичних і тепловізійних приладів противника на дистанціях до 3 км з ефективністю, що перевищує 80 % (за заявами виробника). Поліпшення засобів зв'язку відбувається паралельно: до кінця 2024 року в країну імпортовано близько 8 500 портативних радіостанцій Harris PRC-117G (підтримка передачі даних до ~16 кбіт/с із AES-256 шифруванням), що забезпечило ефективніший обмін відео- та радіолокаційною інформацією між підрозділами на відстанях до 25 км без додаткових ретрансляторів [6].

Робототехніка наземного базування та автономні системи також набули практичного застосування: у 2023–2024 роках поставлено близько 25 машин "Guardium" і 12 комплексів "Super aEgis II" для виконання розвідувальних, охоронних та інженерних завдань; загальна кількість автономних систем досягла приблизно 67 одиниць, що дозволило замістити до 18 % особового складу у високоризикових операціях з розмінування та охорони.

У підсумку, аналіз практики застосування ОВТ у ході сучасного конфлікту свідчить про системний перехід до багаторівневих, інтегрованих вогневих систем, які об'єднують високоточні носії, цифрові мережі управління та засоби розвідки. Питома вага високоточної зброї в запасах бойових засобів перевищує 55 % — удвічі більше порівняно з 2021 роком — що дозволяє зменшувати логістичні витрати та підвищувати ефективність кожного елемента. Загальна тенденція — цифровізація, автоматизація й роботизація — формує нові підходи до тактики та стратегії і визначає напрямки подальшого розвитку спроможностей сектору безпеки й оборони[7].

Висновки

За результатами дослідження, за останні три роки спостерігається системний перехід до високотехнологічних форм війни: істотно зросла частка керованих боєприпасів та безпілотних систем, покращилися мережеві системи управління і засоби РЕБ, а також широке впровадження активних систем захисту бронетехніки. Це призвело до підвищення точності ураження, зниження витрат боєприпасів, скорочення циклу "виявив–знищив", і зростання живучості підрозділів. Інформаційно-мережева інтеграція сенсорів, БпЛА і систем управління стала ключовим фактором оперативної ефективності. Подальша ефективність залежатиме від оптимізації витрат високоточної зброї, підвищення автономності робототехніки, розвитку засобів протидії гіперзвуковим загрозам і інтеграції мультисенсорних систем захисту.

Список використаних джерел

1. Олексенко О. О., Авраменко О. В., Федоров А. В., Сніцаренко В. В., Чернавіна О. Є. Основні тенденції застосування безпілотних літальних апаратів у ході широкомасштабного вторгнення РФ в Україну : наукова стаття / О. О. Олексенко та ін. Київ : Журнал «Наука і техніка Повітряних Сил ЗС України», №4(49), 2024.

2. Керований артилерійський снаряд M982 Excalibur: боєприпас, що трансформує гаубицю у “снайперську гвинтівку” : аналітична публікація / АрміяInform. — Київ : Міністерство оборони України, 2023. — Режим доступу: https://armyinform.com.ua/ (дата звернення: 01.11.2025).

3. Романченко І. С., Загорка О. М., Бутенко С. Г., Дейнега О. В. Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітними цілями (оцінка можливостей, тенденції розвитку засобів протиповітряної оборони) : монографія. Житомир : «Полісся», 2011. 344 с.

4.Про що каже інтеграція українських систем ППО до норвезького ЗРК NASAMS та чому це вигідно обом сторонам : аналітична публікація / Defense Express. — Київ : Defense Express, 2025. https://defenceua.com/news/pro_scho_kazhe_integratsija_ukrajinskih_sistem_ppo_do_norvezkogo_zrk_nasams_ta_chomu_tse_vigidno_obom_storonam-19350.html(date of access: 30.10.2025).

5. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку) : монографія / В. П. Городнов та ін. Харків : ХВУ, 2004. 410 с.

6. “Кропива” — програмне забезпечення для планування, розрахунків і орієнтування : інформаційна сторінка / Благодійний фонд «Армія SOS». — Київ : БФ «Армія SOS», 2025. — Режим доступу: https://armysos.com.ua/uk/kropyva/?utm_source (дата звернення: 02.11.2025).

7. Толубко В. Б., Бут Ю. І., Косевцов В. О. Основні закономірності сучасних локальних війн та збройних конфліктів : навчальний посібник. Київ : НАОУ, 2002. 68 с. 10. Федоров В. В. Вогнева підготовка : навч. посіб. Харків : ХНУВС, 2018. 324 с.

Трач Ігор Петрович – *молодший науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: garyoldman333@gmail.com https://orcid.org/0009-0002-9816-9500.*

Trach Ihor Petrovych *– junior research fellow at the Air Force scientific center, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, 77/79 Sumska St., Kharkiv, 61023, Ukraine; e-mail: garyoldman333@gmail.com; https://orcid.org/0009-0002-9816-9500.*

УДК 629.735

Мазур М. М., Кашканов А. А.

ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА МАСОВОГО ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В УКРАЇНІ

Анотація. *Розглянуто ключові виклики, що супроводжують масове використання безпілотних літальних апаратів в Україні, зокрема в умовах воєнного стану. Проаналізовано проблеми технічного обслуговування, кадрового забезпечення, логістики, правового регулювання та кібербезпеки. Запропоновано напрями вдосконалення системи експлуатації дронів у військовій та цивільній сферах.*

Ключові слова: *безпілотні літальні апарати, технічне обслуговування, дрони, логістика, кібербезпека, нормативно-правове забезпечення.*

Abstract. *This paper examines the key challenges associated with the mass deployment of unmanned aerial vehicles (UAVs) in Ukraine, particularly under martial law conditions. It analyses issues related to technical maintenance, personnel training, logistics, legal regulation, and cybersecurity. The study proposes directions for improving UAV operation systems in both military and civilian contexts.*

Key words: *unmanned aerial vehicles, technical maintenance, drones, logistics, cybersecurity, legal and regulatory framework.*

Вступ

Сучасні технології безпілотних літальних апаратів (БПЛА) стрімко трансформують підходи до ведення бойових дій, моніторингу інфраструктури, екологічного контролю та логістики. В Україні, особливо після початку повномасштабної війни, дрони стали критично важливими інструментами для розвідки, коригування вогню, доставки вантажів та аерофотозйомки. Масове використання БПЛА продемонструвало їхню ефективність, але водночас виявило низку системних проблем, які потребують комплексного вирішення.

Метою даної роботи є аналіз сучасних викликів, пов’язаних із технічним обслуговуванням та масовим використанням БПЛА в Україні, а також визначення стратегічних напрямів удосконалення інфраструктури підтримки безпілотних технологій.

Результати дослідження

Для комплексного розуміння викликів, пов’язаних з експлуатацією БПЛА в Україні, доцільно систематизувати ключові проблеми за категоріями [1, 2]. У таблиці 1 наведено основні аспекти, що впливають на ефективність технічного обслуговування дронів у сучасних умовах.

Таблиця 1 – Основні проблеми технічного обслуговування БПЛА в Україні

Категорія проблеми	Прояви та наслідки
Технічне обслуговування	Високе навантаження на майстерні, нестача запчастин, відсутність уніфікованих рішень
Кадровий дефіцит	Нерівномірна підготовка операторів, відсутність сертифікації
Логістика	Обмежена кількість ремонтних баз, нестабільне постачання комплектуючих
Правове регулювання	Відсутність чітких норм для цивільного та військового використання
Кібербезпека	Вразливість до РЕБ, відсутність шифрування та захисту каналів зв’язку

Масове застосування БПЛА у військових операціях створює значне навантаження на систему технічного обслуговування. Кожен апарат потребує регулярної діагностики, заміни зношених компонентів, оновлення програмного забезпечення та адаптації до змін у тактичному середовищі. Особливо це стосується FPV-дронів, які мають короткий життєвий цикл і часто зазнають пошкоджень після одного бойового вильоту. Військові майстерні, як зазначено у репортажах телеканалу UATV [3], здійснюють ретельну перевірку кожного апарата перед повторним використанням. Однак обмежені ресурси, нестача запчастин та відсутність централізованої системи ремонту ускладнюють процес. Частина ремонтів виконується

волонтерськими ініціативами, що, попри ентузіазм, не завжди відповідає стандартам безпеки та якості.

Таблиця 2 демонструє ключові відмінності між системами БПЛА в Україні та умовно узагальнених країнах НАТО.

Таблиця 2 – Порівняння систем обслуговування БПЛА

Параметр	Україна (2024–2025)	Країни НАТО (умовно)
Централізована система ремонту	Частково, з опорою на волонтерські ініціативи	Повністю інтегрована в логістику Збройних Сил
Сертифікація операторів	Відсутня єдина система	Стандартизована багаторівнева підготовка
Уніфікація платформ	Висока фрагментація	Високий рівень стандартизації
Кіберзахист	Обмежений, залежить від виробника	Інтегрований у військові протоколи
Законодавча база	Частково адаптована	Повністю врегульована

Як видно з табл. 2, аналіз охоплює п’ять критичних параметрів, що визначають ефективність експлуатації дронів у військовій та цивільній сферах.

Централізована система ремонту в Україні перебуває на стадії формування, часто базується на волонтерських ініціативах та не має повної інтеграції в логістичні процеси Збройних Сил. Масове виробництво БПЛА, започаткованe урядом України [4, 5], передбачає створення логістичних центрів і ремонтних баз. Однак їх кількість наразі є недостатньою для покриття потреб фронту. Натомість у країнах НАТО ремонтна інфраструктура є частиною централізованої військової логістики, що забезпечує оперативність та стандартизацію.

Сертифікація операторів в Україні не має єдиної державної системи, що призводить до нерівномірного рівня підготовки персоналу. Відсутність єдиних державних стандартів підготовки призводить до нерівномірного рівня компетентності персоналу. Навчання часто здійснюється за спрощеними програмами, без належної сертифікації, що створює ризики при виконанні складних технічних завдань. У НАТО застосовується багаторівнева стандартизована система навчання та сертифікації, яка гарантує високий рівень компетентності операторів.

Уніфікація платформ в Україні характеризується високою фрагментацією – використовуються дрони різних виробників, з різними технічними характеристиками, що ускладнює обслуговування та логістику. У країнах НАТО переважає стандартизація платформ, програмного забезпечення та комплектуючих.

Кіберзахист українських БПЛА часто залежить від виробника і не завжди відповідає сучасним вимогам безпеки. Застосування БПЛА в умовах активного використання засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) з боку противника вимагає постійного вдосконалення систем зв’язку, шифрування та захисту каналів управління. Багато моделей дронів не мають належного захисту від перехоплення сигналу або глушіння, що знижує їхню ефективність. У НАТО кіберзахист інтегрований у військові протоколи, що забезпечує захист каналів зв’язку та протидію електронним загрозам.

Законодавча база в Україні лише частково адаптована до реалій масового використання БПЛА, особливо в умовах воєнного стану. Під час воєнного стану Міністерство оборони України спростило процедури реєстрації та використання БПЛА. Це дозволило швидко інтегрувати дрони у бойові операції, але водночас створило ризики для контролю безпеки польотів, захисту даних та відповідності технічним стандартам. У цивільному секторі також спостерігається правова невизначеність. Відсутність чітких норм щодо використання БПЛА для комерційних, наукових чи приватних цілей створює ризики для приватності, безпеки інфраструктури та захисту персональних даних. У країнах НАТО нормативно-правове регулювання є повністю врегульованим, охоплює як військове, так і цивільне застосування дронів.

З огляду на виявлені проблеми функціонування інфраструктури безпілотних літальних апаратів (БПЛА), сформульовано низку пріоритетних напрямів її розвитку. Вони охоплюють як технічні, так і організаційно-правові аспекти, спрямовані на підвищення ефективності, надійності та безпеки експлуатації дронів у військовій та цивільній сферах.

Таблиця 3 – Пріоритетні напрями розвитку інфраструктури БПЛА

Напрям удосконалення	Конкретні заходи
Технічне обслуговування	Створення планової системи ТО, мобільних ремонтних груп
Кадрова підготовка	Впровадження державної сертифікації операторів і техніків
Логістика та постачання	Формування резервів запчастин, розвиток логістичних хабів
Уніфікація	Розробка стандартів для платформ, ПЗ, акумуляторів
Правове регулювання	Прийняття закону про БПЛА, визначення зон польотів, відповідальності
Кіберзахист	Шифрування каналів, створення центрів моніторингу загроз

Запропоновані напрями вдосконалення мають комплексний характер і передбачають як оперативні, так і стратегічні заходи. Їх реалізація дозволить створити цілісну, стійку та ефективну систему підтримки БПЛА, здатну відповідати на виклики сучасного безпекового середовища.

Висновки

Масове використання БПЛА в Україні є стратегічно важливим елементом сучасної оборони та розвитку технологій. Однак ефективність цієї системи залежить від здатності держави та суспільства вирішити комплекс проблем – технічних, кадрових, логістичних, правових та кібернетичних. Для забезпечення стабільної роботи БПЛА необхідно створити планову систему технічного обслуговування, уніфікувати навчання та сертифікацію персоналу, розвивати інфраструктуру ремонту та постачання, адаптувати законодавство до умов воєнного та поствоєнного періоду, забезпечити кіберзахист і стійкість до РЕБ. Реалізація цих заходів дозволить Україні зберегти технологічну перевагу, підвищити ефективність бойових операцій та забезпечити безпечне використання БПЛА у мирний час.

Список використаних джерел

1. Thomas S. Civilian and military air traffic control in the EU. Working document for the STOA Panel. Brussels, European Parliament, November 2001. URL: https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/committees/rett/20020121/297568EN.pdf.
2. North Atlantic Treaty Organization (NATO). Aviation Committee. URL: https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_69339.htm.
3. Майстерня з обслуговування БПЛА: як працюють українські військовослужбовці. – UATV, 2024. URL: https://uatv.ua/uk/majsternya-z-obslugovuvannya-bpla-yak-pratsyuyut-ukrayinski-vijskovosluzhbovtsi-pidrozdilu-hyzhak-video/.
4. Міністерство оборони спростило правила використання БПЛА під час війни. – LB.ua, 2025. URL: https://lb.ua/society/2025/07/17/686964_ministerstvo_oboroni_sprostilo.html.
5. Кабмін ухвалив історичну постанову про масове виробництво БПЛА. – The Village Україна, 2024. URL: https://www.village.com.ua/village/city/city-news/337361-kabmin-pidtrimav-istorichnu-postanovu-pro-masove-virobnitstvo-bpla-v-ukrayini-chomu-tse-vazhlivo.
6. Звернення громадян щодо польотів безпілотників над охоронюваними об'єктами. – up.mk.ua, 2025. URL: https://www.up.mk.ua/mainpage/show_item/107801.

Мазур Михайло Миколайович *– студент Вінницького національного технічного університету e-mail: Gordli180907@gmail.com , ORCID:https://orcid.org/0009-0009-9710-1652*

Кашканов Андрій Альбертович *– д.т.н., професор, директор інституту докторантури та аспірантури, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua. Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3294-6135.*

Mazur Mykhailo Mykolaiovych *– student of Vinnytsia National Technical University, e-mail: Gordli180907@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0009-9710-1652.*

Kashkanov Andrii A. *– Dr.Sc. (Eng.), Professor, Head of the Institute for Doctoral and Postgraduate Education, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua. Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3294-6135.*

УДК 681.5.015.23

Здерко Є. Д., Древечук Р. В., Ревко Г. В.

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ АПАРАТУРИ ВИМІРЮВАННЯ ОБЕРТІВ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА ТРАНСПОРТНОГО ЛІТАКА

Анотація: *у тезі розглянуто технічні та експлуатаційні аспекти модернізації системи вимірювання обертів авіаційного двигуна транспортного літака по типу Ан-26 шляхом заміни індукційних датчиків ДТЕ-1 на магніторезистивні (MR-датчик) або Hall датчики. Проведено порівняння традиційних датчиків ДТЕ-1 із сучасними магніторезистивними та хол-датчиками, проаналізовано можливості впровадження цих датчиків у наявну систему обертів двигуна літака Ан-26.*

Ключові слова: *Ан-26, впровадження MR або Hall,, магніторезистивні, Hall датчики, ДТЕ-1, заміна системи, цифровий тахометр, удосконалити вал двигуна, модернізація.*

Abstract: *The thesis examines the technical and operational aspects of modernizing the engine speed measurement system of a transport aircraft such as the An-26 by replacing the inductive DTE-1 sensors with magnetoresistive (MR) or Hall sensors. A comparison between traditional DTE-1 sensors and modern magnetoresistive and Hall sensors has been conducted, analyzing the possibilities of integrating these sensors into the existing engine speed measurement system of the An-26 aircraft.*

Keywords: *An-26, mplementation of MR or Hall sensors, magnetoresistive sensors, Hall sensors, DTE-1, system replacement, digital tachometer, engine shaft improvement, modernization.*

Авіаційні системи обертів двигуна є критично важливою складовою забезпечення надійності польотів, як на транспортних так і на багатоцільовий літаках, що виконують завдання в умовах інтенсивних навантажень. Система вимірювання обертів двигуна призначена для вимірювання та відображення частоти обертання його валів, що дозволяє пілоту контролювати потужність двигуна. У базовій конструкції літака Ан-26 використовуються датчики типу ДТЕ. Вони мають відносно менший час відклику та більший струм споживання в порівнянні з MR та Hall датчиками.

Для впровадження MR або Hall датчиків у систему Ан-26 необхідно врахувати кілька ключових аспектів. По-перше, це несумісність з аналоговими системами тахометрії. Система Ан-26 використовує аналогові тахометри ІТЕ-2, які працюють з індукційним сигналом напруги від ДТЕ-1. MR та Hall датчики використовують цифрові або низькочастотні імпульсні сигнали, тому без узгоджувального блоку або перетворювача сигналу система не сприйматиме оберти коректно. Рішення: встановити цифровий тахометр який приймають імпульсний або частотно-кодований сигнал та відображають частоту обертів у цифровій формі, можуть передавати дані в бортову систему. По-друге, механічна несумісність. MR та Hall датчик мають значно менші розміри та мають потребу точного позиціонування відносно зубців або магнітного ротора, без адаптера або перехідного кронштейна неможливо забезпечити правильний зазор між чутливим елементом і магнітопровідною частиною. Рішення: удосконалити вал двигуна магнітним кільцем або прицілом для MR або Hall датчика, таким чином потреби в адаптері не буде. По-третє, неідентична форма сигналу. MR датчик має постійну амплітуду та цифровий сигнал, тому без цифрового процесора або перетворювача сигнал буде не вірно інтерпретований тахометром ІТЕ-2 Рішення: заміна всієї системи, яка буде працювати з цифровими сигналами.

У процесі проєктування нової системи необхідно передбачити модуль діагностики стану, який зможе виводити інформацію на індикатори кабіни пілота або пульт діагностики системи вимірювання обертів. Це забезпечить виявлення потенційних відмов.

Впровадження MR або Hall датчиків дозволить модернізувати систему вимірювання частоти обертання авіаційного двигуна транспортного літака типу Ан-26. Запропоновано заміну індукційних датчиків типу ДТЕ на сучасні магніторезистивні або Hall-датчики, що забезпечують підвищену точність, стабільність сигналу та меншу чутливість до зовнішніх електромагнітних перешкод. Для сумісності з новими типами сенсорів модернізовано конструкцію вала двигуна, а також замінено аналоговий

вимірювач ІТЕ-2 на цифровий тахометр, який дозволяє здійснювати точне вимірювання, цифрову індикацію та передачу даних у бортову систему. Така модернізація підвищує надійність, точність і технологічний рівень системи контролю обертів двигуна, що сприяє покращенню експлуатаційних характеристик літака Ан-26.

Отже, модернізація системи вимірювання обертів двигуна на літаку Ан-26 шляхом використання MR або Hall датчиків є не лише технічно можливою, але й стратегічно виправданою. Вона забезпечує зростання надійності, підвищення безпеки польотів, зниження маси, енергоспоживання та витрат на обслуговування. Запропоновані технічні рішення відкривають шлях до подальшої електрифікації авіаційних систем і створення адаптивних енергетичних платформ для сучасної військової авіації.

Список використаних джерел:

1. http://standart-m.com.ua/izmeritelnye-pribory/tahometry/-datchik-takhometra-dte-1?mova=uk
2. https://www.electra.com.ua/tekh-kharakteristiki/150-chto-takoe-datchiki-kholla-i-dlya-chego-oni-nuzhny-v- elektrovelosipedakh.html
3. https://studfile.net/preview/7836177/page:47/

Здерко Євгеній Дмитрович *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail:vip.zderko007@gmail.com*

Древенчук Роман Васильович *– викладач кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 21029, e-mail: mailboy2009@gmail.com*

Ревко Григорій Васильович *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail:revkogrigorii12@gmail.com*

Zderko Yevhenii Dmytrovych – cadet *from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: vip.zderko007@gmail.com*

Roman Vasilyevich Drevenchuk *– lecturer, Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: mailboy2009@gmail.com*

Revko Hrihorii Vasylyovych *– student from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: revkogrigorii12@gmail.com*

УДК 629.7.07:004.8

Аніпко О. Б., Тюріна В. Ю., Панкул О. М.

ЩОДО ОДНОГО ПІДХОДУ ДО ІНТЕГРАЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МЕТОДОЛОГІЮ АНАЛІЗУ ДЕРЕВА ВІДМОВ

Анотація. *Гібридний підхід поєднує аналіз дерева відмов (FTA) з нейронними мережами (LSTM) для підвищення точності прогнозування деградації авіаційних двигунів на основі часових рядів експлуатаційних даних, що сприяє переходу до прогнозованого технічного обслуговування (Predictive Maintenance).*

Ключові слова *Ключові слова: дерево відмов, ШІ, LSTM, прогнозоване обслуговування, надійність, PHM.*

Abstract. *A hybrid approach combining Fault Tree Analysis (FTA) with LSTM neural networks is proposed to enhance the accuracy of aircraft engine degradation prediction based on operational time series data, facilitating the transition to Predictive Maintenance.*

Key words*: Keywords: fault tree, AI, LSTM, predictive maintenance, reliability, PHM.*

Забезпечення надійності та безвідмовності авіаційної техніки є ключовим чинником підвищення бойової ефективності. Вирішальну роль відіграють авіаційні двигуни. Умови сучасних бойових дій висувають підвищені вимоги, а відмова силової установки становить загрозу. Завдання прогнозування технічного стану набуває пріоритетного значення [1-3]. Під терміном «елемент» розуміється як окрема деталь, так і вузол, система [4-5].

Розвиток методів діагностики спрямований на перехід до прогнозованого технічного обслуговування (Predictive Maintenance) у межах парадигми Prognostics and Health Management (PHM). Метод Fault Tree Analysis (FTA) ефективний, але не враховує динаміку зношення.

Для систем без резервування ймовірність відмови: $Psys = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - Pi)$ (1)

Інтегральна оцінка надійності: $Pінт = \sum_{i=1}^{n} \omega i - Pi(t)$ (2)

Пропонований гібридний підхід (FTA-LSTM) інтегрує FTA з рекурентними нейронними мережами Long Short-Term Memory (LSTM). Модель LSTM навчається на часових рядах експлуатаційних параметрів (температура, вібрація, тиск) передбачати функцію імовірності відмови: $Pi(t + \triangle t) = f_{LSTM}(Xi(t))$ (3)

Отримані прогнози LSTM динамічно підставляються у дерево відмов, що дозволяє оновлювати оцінку надійності системи в реальному часі.

Інтеграція FTA та LSTM-мереж є доцільним напрямом для підвищення ефективності прогнозованого обслуговування авіаційного транспорту.

Список використаних джерел:

1. Аніпко О. Б, Калкаманов С.А., Приймак А. В. Формули пріоритетів і хінсайд-аналіз... – 2020. – №2. – С. 11-19.
2. Anipko O., Loginov V. An 'Intergation index'... // Transactions on Aerospace Research. – 2024. – Vol. 277, №4. – P. 27-44. DOI 10.2478/tar – 2024-0021.
3. Аніпко О.Б., Білий М.Ф. Дистрибутивний підхід... // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2020. – №2 – С. 79-83. DOI 10.20998/2078-5364.2020.2.09.
4. Стандарт ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Київ, ДП «УкрНДНЦ» 1994. – 96 с.
5. Стандарт ДСТУ 2498-94. Основні норми взаємозамінності. Київ, ДП «УкрНДНЦ» 1994. – 59 с.

6. Аніпко О.Б., Приймак А.В. Комплексування показників досконалості... // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2014. – №4 – С.43-50.
7. Анипко О.Б, Приймак А.В, Миргород Ю.И. Перечень показателей свойств... / Інтегровані технології та енергозбереження. – 2013. – №1. – С. 123–125.
8. Труханов В.М. Надежность технических систем... Москва: Машиностроение, 2003. – 320 с.
9. Максимов Н.А, Боборыкин С.А, Виноградов А.И... Інженерно-авиционная служба... – Київ: КВИАВУ ВВС, 1969. – 467 с.
10. Mitrakhovych M.M. Skladni tekhnichni systemy. Kyiv: Nichlava, 1998.
11. Bar-Yam, Y. General Features of Complex Systems // Encyclopedia of Life Support Systems. EOLSS UNESCO Publishers, Oxford, UK, 2002.
12. Виклюк Я. І., Камінський Р. М., Пасічник В. В. Моделювання складних систем: навч. посібник. Львів: НУ «ЛП», 2024. 248 с.
13. Нові інформаційні технології, моделювання та автоматизація: монографія / За ред. О. Д. Мороза. Київ: Техніка, 2023. 320 с.
14. Шуай Фу і Ніколас П. Авделідіс. Прогнозування та управління станом... Кренфілдський університет, 23(19), 8124. https://doi.org/10.3390/s23198124
15. Кішор С. Тріведі Андреа Боббіо. Аналіз дерева несправностей. Cambridge University Press. с. 201 – 270. https://doi.org/10.1017/9781316163047.009.
16. Лю Х. і Лю З. Гібридний підхід до діагностики несправностей... // Cambridge University Press. Випуск 118. с. 81– 97. https://doi.org/10.1017/S0001924000008940.

Аніпко Олег Борисович *– доктор технічних наук, професор кафедри інженерно-авіаційного забезпечення, e-mail: o.m.pankul@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків. ORCID https://orcid.org/0000-000-3678-2529. Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Тюріна Валерія Юріївна *– кандидат технічних наук, кафедри інженерно-авіаційного забезпечення, e-mail: valery.kharkiv@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків. ORCID https:// orcid.org/0000-0003-3444-143X. Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Панкул Олександр Миколайович *– старший викладач кафедри інженерно-авіаційного забезпечення, e-mail: o.m.pankul@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків. ORCID https://orcid.org/0000-000-3005-0730.*

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.

Anipko Oleh Borysovych *– Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Aviation Engineering Support, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind. 61023, e-mail: o.m.pankul@gmail.com. ORCID https://orcid.org/0000-000-3678-2529*

Tiurina Valeriia Iuriivna *– Candidate of Technical Sciences, Department of Aviation Engineering Support, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind. 61023, e-mail: valery.kharkiv@gmail.com. ORCID https://orcid.org/0000-0003-3444-143X*

Pankul Oleksandr Mykolaiovych *– Senior Lecturer of the Department of Aviation Engineering Support, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind. 61023, e-mail: o.m.pankul@gmail.com. ORCID https://orcid.org/0000-000-3005-0730*

УДК 629.735.015.4

Ковтонюк І. Б., Козлов К. С.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИНИЩУВАЧА СУ- 27 З ДИФЕРЕНЦІЙНО ВІДХИЛЯЄМИМИ НОСКАМИ КРИЛА З УРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ БОЙОВИХ ДІЙ

Анотація. *У роботі розглянуто вплив застосування диференційно відхиляємих носків крила на характеристики винищувача Су-27. Наведено результати розрахунків та моделювання, які підтверджують підвищення коефіцієнта піднімальної сили та покращення маневреності літака. Розглянуто питання експлуатації та ремонту літака із носками крила, які мають змогу відхилятися диференційно.*

Ключові слова: *винищувач Су-27, носки крила, маневреність, піднімальна сила, експлуатація та ремонт.*

Abstract. *The paper examines the impact of differentially deflected wing tips on the characteristics of the Su-27 fighter. The results of calculations and modeling are presented, which confirm the increase in the lift coefficient and the improvement of the aircraft's maneuverability. The issue of operation and repair of an aircraft with wing tips that can deflect differentially is considered.*

Keywords: *Su-27 fighter, wing tips, maneuverability, lifting force, operation and repair.*

Необхідність відсічі широкомасштабної збройної агресії російської федерації потребує постійного удосконалення зразків озброєння та військової техніки, які знаходяться на озброєнні Збройних Сил України. Сучасні Повітряні Сили є одним з головних елементів забезпечення обороноздатності держави, тому авіаційна техніка також потребує постійного удосконалення, що зумовлює необхідність проведення наукових досліджень, які спрямовані на підвищення бойової ефективності повітряних суден.

Вимоги до бойових характеристик авіаційної техніки постійно зростають. Бойові дії у сучасних умовах показали, що вирішальну роль у досягненні переваги в повітрі відіграє маневреність літака на великих кутах атаки. Одним із перспективних напрямів підвищення маневрених характеристик винищувача є застосування диференційно відхиляємих носків крила, що дозволить збільшити експлуатаційний діапазон кутів атаки літака, підвищити допустимий коефіцієнт піднімальної сили, забезпечити створення нормального перевантаження на великих кутах атаки і підвищити маневреність винищувача.

Розрахунки і моделювання показали, що застосування диференційно відхиляємих носків крила забезпечує підвищення коефіцієнта піднімальної сили в діапазоні 8–12 %, покращення поперечної керованості на кутах атаки понад 25°, зменшення радіусу віражу та підвищення бойової живучості. Слід відзначити також позитивний вплив запропонованого удосконалення на характеристики зльоту та посадки при збереженні прийнятних масових параметрів літака.

У конструкції літака передбачено інтегральну аеродинамічну схему з розвиненим крилом та електродистанційною системою керування (ЕДСК), яка забезпечує автоматичне та точне відхилення носків крила.

Виконано аналіз тактико-технічних характеристик літака з урахуванням запропонованих заходів, розрахунок впливу відхилення носків на коефіцієнт піднімальної сили, оцінка зміни маси та центрування. Проаналізовані питання експлуатації та ремонту літака із диференційно відхиляємими носками крила. Розглянуто можливі експлуатаційні та бойові пошкодження обшивки та силового набору носка крила, що відхиляється. Проведено аналіз технологічного графіка підготовки літака до повторного польоту.

Отже, удосконалення конструкції крила Су-27 за рахунок впровадження диференційно відхиляємих носків крила є технічно доцільним і дозволяє значно покращити характеристики літака. Результати дослідження можуть бути використані при модернізації наявних літаків Су-27 та при проведенні подальших наукових досліджень.

Список використаних джерел

1. Bartels R., “Flight Control and Stability of Modern Fighters,” Aerospace Science Journal, 2020.
2. Державна програма розвитку Збройних Сил України на 2006-2011 роки. Основні положення.
3. Єдиний регламент технічного обслуговування літака Су-27.
4. Зайцев В.Н., Федоров Р.М. «Конструкція та міцність літаків».

5. Ништ М.І. «Аеродинаміка літальних апаратів та гідравліка їх систем».

Ковтонюк Ігор Борисович *– доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба; Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна; email: igor_kovtonyuk@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7010-3596*

Козлов Костянтин Сергійович *– слухач інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних сил ім. І. Кожедуба; Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків Україна; email: mrkontantin12@gmail.com*

Kovtonyuk Ihor Borysovych *– professor of the department Faculty of Aviation Engineering of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, UA; email: igor_kovtonyuk@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7010-3596*

Kostiantyn Kozlov *– a student of the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University. Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine; email: mrkonstantin12@gmail.com*

УДК 355.48:621.311(045)

Головань А. В., Головань В. Г., Гордішевський Л. Г.

ПРОБЛЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬК У БОЙОВИХ УМОВАХ

Анотація. *У тезах аналізуються основні проблеми щодо електрозабезпечення військ у бойових умовах. Показана залежність від електроенергії сучасних військових систем та визначені загрози і обмеження їх стабільного енергоживлення. Визначено можливі напрями розвитку систем електрозабезпечення військ їх архітектура і варіанти рішень. Запропоновані практичні заходи підвищення стійкості електромереж. Проведено порівняння ефективності основних джерел електроживлення у військових умовах.*

Ключові слова: *електрозабезпечення військ, бойові умови, військові системи, гібридні енергосистеми, сонячні панелі, вітрогенератор, акумулятор, дизель.*

Abstract. *The theses analyzes the main problems related to the power supply of troops in combat conditions. It demonstrates the dependence of modern military systems on electricity and identifies the threats and limitations to their stable power supply. Possible directions for the development of military power supply systems, their architecture, and potential solutions are defined. Practical measures to enhance the resilience of power grids are proposed. The effectiveness of the main power sources in military conditions is compared.*

Keywords: *power supply of troops, combat conditions, military systems, hybrid energy systems, solar panels, wind generator, battery, diesel.*

Вступ

Електрозабезпечення військ є одним із ключових елементів бойового та логістичного забезпечення сучасних Збройних Сил. Висока залежність військових систем від електроенергії — від засобів зв'язку, навігації, розвідки, систем управління до високоточної зброї — зумовлює потребу в безперебійному, мобільному та захищеному енергопостачанні. У бойових умовах проблема електрозабезпечення набуває особливої гостроти через обмеженість ресурсів, ураження інфраструктури та динамічність обстановки [1–7].

Результати дослідження

У сучасних бойових діях практично всі системи управління, зв'язку, розвідки, радіоелектронної боротьби, безпілотні комплекси, сенсори та засоби наведення залежать від стабільного енергоживлення. Зростання кількості електронних пристроїв у складі озброєння і військової техніки призводить до збільшення навантаження на польові енергосистеми. Особливої актуальності набуває питання забезпечення живленням систем високоточного ураження, елементів кіберзахисту та мобільних командних пунктів, які часто діють у відриві від основних джерел електроенергії.

Аналіз системи електрозабезпечення військ у бойових умовах показує, що ключовими її факторами є стійкість, мобільність, мінімізація логістичних ризиків (особливо щодо пального), захищеність від фізичних, кібер- та електромагнітних атак, а також можливість швидкої реконфігурації енергосистеми. Сучасна практика електрозабезпечення військ спирається на поєднання тактичних мікромереж, автономних джерел (генератори, батареї), відновлюваної енергії (портативні PV), а також на заходи кібер- та фізичного захисту.

Разом з тим необхідно враховувати існуючі загрози та обмеження щодо стійкого функціонування системи електрозабезпечення військ у бойових умовах. Це, насамперед, *вразливість традиційних джерел енергії*. Так основу електропостачання у польових умовах становлять дизельні електростанції. Проте вони мають низку недоліків:

висока шумність і теплове випромінювання, що демаскує позиції; низька ефективність при змінних навантаженнях;

складність технічного обслуговування у польових умовах.

розриви у ланцюгу постачання палива — дизельні генератори залежні від постачання палива, що робить їх вразливими під обстрілами, перехопленням чи логістичними затримками.

Також необхідно відзначити *недостатню автономність польових енергосистем*. Польові енергомережі часто не здатні забезпечити тривалу автономну роботу без підзарядки чи підвезення палива. Це критично для мобільних підрозділів, систем спостереження, пунктів управління, які діють на ізольованих ділянках фронту.

Слід враховувати *можливі ураження енергетичної інфраструктури.* У сучасній війні противник цілеспрямовано вражає енергетичні об'єкти, склади палива та генераторні установки. Втрата центрального живлення може паралізувати зв'язок і управління, що робить критично важливою розосереджену, резервовану систему електроживлення.

У більшості випадків польові енергетичні вузли працюють без автоматизованого моніторингу та регулювання навантаження, що пояснюється *нестачею інтелектуальних систем управління енергоспоживанням*. Відсутність систем енергоменеджменту призводить до нераціонального використання ресурсів, перевантаження генераторів і швидкого виходу їх з ладу.

Перспективними напрямами вирішення перелічених проблем можуть бути:

впровадження гібридних енергосистем. Поєднання дизельних генераторів із сонячними панелями, вітровими турбінами та акумуляторними батареями дозволяє підвищити автономність і зменшити витрати палива. Такі системи вже застосовуються у збройних силах США, Великої Британії, Ізраїлю, демонструючи підвищення енергоефективності на 30–50%;

використання енергетичних модулів та мікромереж. Модульні мобільні енергетичні станції можуть швидко розгортатися та інтегруватися у спільну мережу з динамічним балансуванням навантажень. Технології "розумних мікромереж" дають можливість забезпечити безперервне живлення навіть при виході з ладу окремих елементів системи;

розвиток систем енергоменеджменту. Використання сенсорів моніторингу, IoT-пристроїв та програмних алгоритмів керування навантаженням дозволяє оптимізувати споживання енергії, прогнозувати несправності та продовжити ресурс генераторів;

розвиток технологій зберігання енергії. Літій-іонні та натрій-іонні батареї нового покоління, суперконденсатори та паливні елементи можуть стати базовими елементами автономних систем живлення для мобільних військових частин.

Архітектура системи електрозабезпечення військ може мати такі варіанти рішень:

1. Тактичні мікромережи — поєднують дизель-генератори, акумуляторні батареї (АБ), сонячні трейлери та локальні контролери. Дозволяють автономну роботу від кількох годин до днів, із пріоритетизацією навантажень. Переваги: ізоляція від основної мережі, баланс генерації/накопичення, оптимізація палива.
2. Гібридні рішення «генератор + акумуляторна батарея + сонячні батареї (СБ)» — АБ зменшують потребу в режимі холостого ходу генераторів, скорочуючи витрати пального і підвищуючи маскування. Портативні рулонні/трейлерні СБ вже доводять свою ефективність у таборах/фіксованих позиціях.
3. Енергетика як сервіс/контрактні мікромережі — на стаціонарних базах/штабах: контракти на побудову й обслуговування мікромереж (корисно для швидкого розгортання і сумісності з цивільною інфраструктурою).
4. Резервні автономні блоки (строго захищені) — ЕМП-захищені критичні вузли та окремі гарнізонні накопичувачі енергії для критичних систем.

Рекомендована конфігурація гібридної системи включає: сонячну панель + вітрогенератор + акумулятор + дизель-резерв. Таке поєднання забезпечує енергетичну стійкість

> 90 % часу при середніх вітрових умовах.

Висновки

Електрозабезпечення військ у бойових умовах є складною багатофакторною проблемою, яка вимагає системного підходу. В умовах сучасної війни, де електронні системи управління та розвідки визначають перевагу на полі бою, енергетична стійкість військових підрозділів стає фактором національної безпеки.

Підвищення ефективності електрозабезпечення можливе через:

перехід до гібридних і розосереджених систем енергопостачання;

автоматизацію управління енергоресурсами; використання відновлюваних джерел енергії;
розвиток мобільних мікромереж та енергетичних модулів;
створення систем енергетичного резервування та кіберзахисту енергетичних вузлів.

Таким чином, модернізація систем електрозабезпечення військ має стати одним із пріоритетів оборонної стратегії України у найближчі роки.

Список використаних джерел:

1. Лагутін В. І., Кононов В. П. Організація електропостачання військових частин і підрозділів: навч. посіб. – Харків: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2019. – 184 с.
2. Дяченко О. М., Мельниченко Ю. В. Електротехнічне забезпечення військ у бойових умовах
// Збірник наук. праць ХНУПС. – 2021. – Вип. 45. – С. 56–68.
3. Гриценко В. В., Ткаченко О. М. Енергетична безпека оборонного сектору: проблеми та напрями забезпечення // Наука і оборона. – 2022. – № 2. – С. 22–35.
4. Бондаренко П. В., Риженко Д. В. Перспективи застосування гібридних енергосистем у військовій сфері // Військово-технічний збірник НУОУ. – 2023. – Вип. 12. – С. 45–59.
5. Сергієнко І. П. Тилове забезпечення військ у сучасних бойових діях. – Київ: НУОУ, 2020. – 152 с.
6. Кузьменко В. В., Соколенко О. П. Застосування відновлюваних джерел енергії у системах забезпечення ЗСУ // Вісник НУЦЗ України. – 2022. – № 4. – С. 34–47.
7. Національна академія наук України. Інститут загальної енергетики. Стійкість енергетичних систем України в умовах воєнних загроз. – Київ: НАНУ, 2023. – 98 с.

Головань Артур Вячеславович *– канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри ракетно- артилерійського озброєння Військової академії, м. Одеса, e-mail: dopler@ukr.net, ORCID* https://orcid.org/0000-0001-5650-2972

Головань Вячеслав Григорович *– канд. техн. наук, професор, професор кафедри ракетно- артилерійського озброєння, Військової академії, м. Одеса, e-mail: gvg55.gvg55@gmail.com, ORCID* https://orcid.org/0000-0002-4451-4703

Гордішевський Леонід Григорович*– ст. викладач кафедри ракетно-артилерійського озброєння, Військової академії, м. Одеса, e-mail: glg230665@ukr.net, ORCID* https://orcid.org/0000-0002- 2764-8857 *Військова академія, вул. Фонтанська дорога, 10, м. Одеса, 65009*

Golovan Artur Vyacheslavovych *- PhD, associate professor, associate professor of the Department of Missile and Artillery Weapons, Military Academy, Odesa, e-mail: dopler@ukr.net, ORCID* https://orcid.org/0000-0001-5650-2972

Golovan Vyacheslav Hryhorovych *- PhD, professor, professor of the Department of Missile and Artillery Weapons, Military Academy, Odesa, e-mail: gvg55.gvg55@gmail.com, ORCID* https://orcid.org/0000-0002-4451-4703

Gordishevsky Leonid Grigorovich *– chief lecturer of the Department of Missile and Artillery Weapons, Military Academy, Odesa, e-mail: glg230665@ukr.net, ORCID* https://orcid.org/0000- 0002-2764-8857 *Military Academy, str. Fontanska doroga, 10, m. Odesa, 65009*

УДК 629.735.083.7

Грабовецький А. С., Кіщук Н. Ю., Василенко Р. В.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИМІРЮВАЧА ВИТРАТИ ТА ЗАЛИШКУ ПАЛИВА ЛІТАКА-ВИНИЩУВАЧА МІГ-29

Анотація. *Однією з найважливіших систем винищувача МіГ-29 є система вимірювання витрати і залишку пального, основною метою якої є забезпечення безперебійної подачі палива в двигуни літака і точне вимірювання запасу і витрати палива. Інформація про запас і витрату палива має першорядне значення для пілота. Це дозволяє точно розрахувати дальність і тривалість польоту, а програмне забезпечення для прогнозування витрат палива дозволяє забезпечити необхідне центрування літака. Існуюча система вимірювання витрати та залишку палива на борту літака - це складна аналогова система вимірювання, що складається з взаємопов'язаних підсистем, але надійність застарілої елементної бази вже не завжди відповідає вимогам.На точність вимірювання рівня палива на борту ПС впливає величина похибки, що виникає через зміну діелектричної проникності палива. Для зменшення рівня похибки, або її компенсації використовують методи компенсації. Одним із таких методів є застосування датчиків компенсації, що завжди повинні бути зануреними в рідину, найкращим варіантом буде їх розташування на дні паливного баку.Одним із прикладів таких датчиків є інваріантний, тобто не залежний від сорту палива (діелектричної проникності).*

Ключові слова: *витратоміри, інваріантний датчик.*

Abstract. *One of the most important systems of the MiG-29 fighter jet is the fuel consumption and reserve measurement system, the main purpose of which is to ensure uninterrupted fuel supply to the aircraft's engines and accurate measurement of fuel reserves and consumption. Information about fuel reserves and consumption is of paramount importance to the pilot. It allows for accurate calculation of flight range and duration, and fuel consumption prediction software ensures the necessary aircraft centering. The existing system for measuring fuel consumption and fuel remaining on board an aircraft is a complex analog measurement system consisting of interconnected subsystems, but the reliability of the outdated component base no longer always meets the requirements. The accuracy of fuel level measurement on board an aircraft is affected by the magnitude of the error arising from changes in the dielectric permeability of the fuel.Compensation methods are used to reduce the level of error or compensate for it. One such method is the use of compensation sensors, which must always be immersed in liquid; the best option is to place them at the bottom of the fuel tank. One example of such sensors is an invariant sensor, i.e., one that does not depend on the type of fuel (dielectric permeability).*

Keywords: flow meters, invariant sensor.

Аналіз особливостей функціонування та експлуатації авіаційних витратомірів та паливомірів, щодо вимірювання рівню і залишку палива, показав, що такі системи мають досить високий рівень методичних (від 4 до 6%) та інструментальних похибок (до 20%), що в значній мірі заважають отриманню достовірних результатів вимірювання та індикації запасу палива на борту ПС для льотчика. Тому є необхідним провести дослідження процесу вимірювання рівню та залишку палива на борту літака МіГ-29. Під час дослідження процесу вимірювання рівня та витрати палива системи СТР6-5 на борту літака МіГ-29 було виявлено недолік, щодо точності вимірів. Найбільш впливовим фактором на точність вимірювань рівню та залишку пального є похибка датчиків паливоміра ДТ-36А, що пов’язана зі зміною сорту пального і вона може досягати 20% відхилень від нормальних значень. Враховуючи це, для підвищення точності вимірювань рівня палива пропонується зменшення похибки шляхом інтегрування датчиків інваріантних до зміни сорту пального. Для підвищення точності виміру рівня палива на борту літака МіГ-29 пропонується інтегрування в системи СТР 6-5 інваріантного датчика що не залежить від сорту пального, та порівняння його зі

існуючим ємнісним датчиком ДТ-36А отримали наступні результати: щометодична похибка датчика типу ДТ-36А більша в 6,6 разів від методичної похибки інваріантного датчика, по методичній похибці приріст точності 15%. ; що інструментальна похибка датчика ДТ-36А в 1.6 разів більша від інструментальної похибки інваріантного датчика, по інструментальній похибці приріст точності 2% що загальна похибка датчика ДТ-36А більша за похибку інваріантного датчика на 17%.

Список використаних джерел:

1. Прилади та системи контролю силових установок: навч. посіб. / А.М. Зарубін, М.М. Петренко. – Х. : ХУПС, 2015. – 136 с.

2. Системи керування хіміко-технологічними процесами: навчальний посібник / А.Н. Гаврилов, Ю.В. П'ятаков

3. А.с. 62670А (UA) Паливомір / В.О. Книш, П.1 Коваленко, М.Д. Кошовий // Бюл. изобрет. № 12, 15.12.2003.

4. Книш В.А., Кошовий Н.Д., Коваленко П.І., ЯдчукК.А. Ємнісний паливомір, інваріантний до зміни сорту палива // Збірник праць міжнародної научно-технічної конференції "Приборостроение-2002". – Вінниця-Алупка. – 2002. – С. 42-43

5. Вимірювальні перетворювачі (сенсори): підручник / В.М. Ванько, Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, Ю.В. Яцук; за ред. проф. Є.С. Поліщука та проф.. В.М. Ванька. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 584 с. 6. Керівництво по технічній експлуатації системи СТР6-5

Грабовецький Андрій Сергійович *– слухач інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: amigogaga13@gmail.com*

Кіщук Назар Юрійович *– слухач інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: nazarkoalpha@gmail.com*

Василенко Роман Вікторович *– старший викладач кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 21029, email: , ORCID https://orcid.org/0000-0001-7683-7526*

Hrabovetskyi Andrii Serhiyovich *– student from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail:amigogaga13@gmail.com*

Kishchuk Nazar Yuriyovych *– student from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: nazarkoalpha@gmail.com*

Roman Viktorovich Vasylenko *– senior lecturer, Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, email: ,, ORCID https://orcid.org/0000-0001-7683-7526*

УДК 623.741.05.003.1

Дерев'янко А. О.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ТИПУ АН-26 ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНОЇ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ БОЙОВИХ ДІЙ

Анотація. *Аналіз підвищення ефективності системи відновлення пошкодженої авіаційної техніки під час бойових дій в рамках оборонної операції оперативного угруповання військ (сил). Потреба вдосконалювати методи підтримки працездатності військової авіатехніки пов'язана з необхідністю підвищити ефективність і економічність системи ремонту літаків під час експлуатації. Це викликано сучасними вимогами до використання авіації, а також необхідністю максимально реалізовувати технічні та тактичні можливості техніки для успішного виконання завдань із забезпеченням її постійної бойової готовності.*

Ключові слова*: ремонт, авіаційна техніка, відновлення, обслуговування.*

Abstact. *Analysis of improving the efficiency of the system for repairing damaged aviation equipment during combat operations as part of the defence operation of the operational group of troops (forces). The need to improve methods of maintaining the operational readiness of military aviation equipment is linked to the need to increase the efficiency and cost-effectiveness of the aircraft repair system during operation. This is caused by modern requirements for the use of aviation, as well as the need to maximise the technical and tactical capabilities of equipment for the successful performance of tasks while ensuring its constant combat readiness.*

Key words: *repair, aviation equipment, restoration, maintenance.*

Вступ. Аналіз бойових дій проти російської агресії та досвід збройних конфліктів XXI століття підтверджують, що авіація є одним із найефективніших засобів логістичного забезпечення військ, особливо в умовах обмеженого доступу до інших шляхів постачання. Зокрема, вона відіграє важливу роль у забезпеченні міжнародної військової допомоги від країн-партнерів.

У ЗС України ці завдання виконує транспортна авіація Повітряних Сил (ПС). Вона залучається до транспортування особового складу, військової техніки, доставки боєприпасів та матеріально-технічних засобів, евакуації поранених, а також до десантування аеромобільних і повітряно-десантних підрозділів у зонах бойових дій. Метою даної роботи є обґрунтування пропозицій для підвищення ефективності системи відновлення пошкоджених повітряних суден в умовах агресії з боку рф.

Основний матеріал. Аналіз несправностей та відмов для різних типів ПС проводиться за певними спеціальностями. По кожній спеціальності аналіз несправностей проводиться:

- за системами;
- за видами робіт на ПС.

Результати обробки інформації з метою систематизації вихідних статичних значень по відмовам, пошкодженням та інцидентам літаків за спеціальністю ЛіД, виявленим в польоті та на землі за 2022-23 роки, та розраховані показники приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Аналіз розподілу несправностей і показників безпеки польотів та надійності літаків за спеціальністю Л і Д

Показники	Ан-24	Ан-26	Ан-32п	Всього
Наліт, год	46	1781	73	1900
Відмови				
В польоті	0	1	1	2
Всього	0	9	2	11
Інциденти	0	0	1	1
Наліт				
T_n , год.	–	1781	73	1854
T_s , год.	–	198	37	235
T_i , год.	–	–	73	73
Відмови за причинами				
ГТС	0	0	0	0
ЛС	0	0	0	0
КВН	0	6	2	8
БП	0	0	0	0
НР	0	0	0	0
Тил	0	0	0	0
ВПНВ	0	3	0	3

Протягом вивченого періоду найбільше відмов авіаційної техніки (АТ) було викликано конструктивно – виробничими недоліками (42 випадки), що складає 76% від усіх виявлених відмов.

Розподіл кількості відмов систем літаків за спеціальністю Л і Д у процентному відношенні наведено на рис. 1.

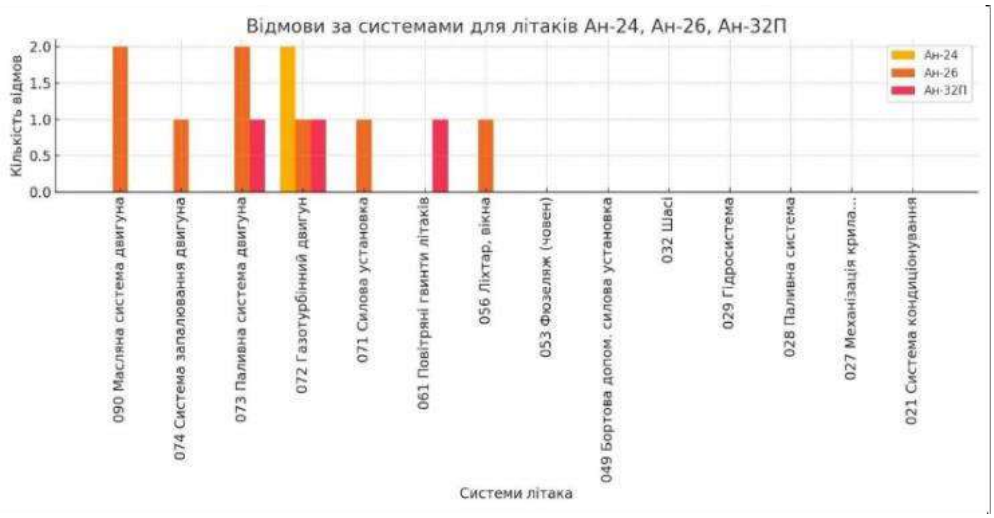


Рисунок 1 - Розподіл кількості відмов систем літаків за спеціальністю Л і Д у процентному відношенні

У разі потреби система ремонту повинна бути інтегрована з відповідними інфраструктурними елементами держав, які займаються виробництвом авіаційної техніки, щоб забезпечити співпрацю у постачанні комплектуючих, запасних частин та матеріалів, які не можуть бути отримані в Україні.

Розташування стаціонарних підрозділів проводиться з урахуванням їх спеціалізації, оптимальних маршрутів доставки, а також з урахуванням дислокації оперативних груп відносно можливих напрямків ведення бойових дій та місць розгортання нових авіаційних підрозділів.

Життєздатність стаціонарних ремонтних структур має забезпечуватися їх переміщенням з-під удару в заздалегідь визначені зони з подальшим використанням можливостей установ народного господарства.

Створення системи ремонту авіаційної техніки має гарантувати оперативне розгортання необхідної кількості військових ремонтних структур у перехідний період, а у разі його відсутності на початку бойових дій.

Відповідно до мети роботи системи військового ремонту, під ефективністю системи відновлення бойових частин ПС розуміється її здатність зберігати заданий рівень готовності ПС до використання. Отже, завдання полягає у виборі показників, які дозволяють кількісно оцінити якість системи відновлення та її вплив на ефективність процесу технічної експлуатації об'єктів АТ.

Оскільки головною задачею системи відновлення є повернення об'єкта ремонту до робочого стану, можна зробити висновок, що ефективність об'єкта залежить від характеристик його надійності. Всі елементи надійності оцінюються за допомогою кількісних показників. Наступним завданням є вибір показника, що дає кількісну оцінку того, якою ціною досягнуто те чи інше значення стаціонарного коефіцієнта готовності. Під економічними показниками системи розуміють показники, що характеризують витрати на розробку, виготовлення та експлуатацію виробу, а також економічну ефективність його експлуатації.

З огляду на інтенсивну експлуатацію літаків типу Ан-26 у військових умовах, зростає потреба в оперативному виявленні та усуненні технічних несправностей безпосередньо на аеродромах. Одним із перспективних рішень у напрямку підвищення ефективності системи технічного обслуговування та ремонту (ТО і Р) є впровадження мобільної лабораторії технічного діагностування АТ, даний засіб зображено на рис. 2, створеної ДП "Одеський авіаційний завод".

Рисунок 2 – Лабораторія технічного діагностування АТ, її оснащення.

Комплекс дозволить вирішувати в повній мірі завдання, які сформовані в досвіді , а саме:

- під час проведення робіт на АТ, приділити більше уваги найменш надійній системі на всіх типах літаків з газотурбінним двигуном;
- для якісного виконання регламентних робіт доукомплектувати групи регламенту і ремонту ТЕЧ АТ спеціальним інструментом та обладнанням;
- можливість оновлення засобів дефектоскопічного контролю для проведення повноцінного контролю стану елементів конструкції;
- оперативного аналізу технічного стану функціональних систем ПС із використанням неруйнівного контролю та засобів загального призначення;
- автоматизованого збору і накопичення діагностичних даних, що дозволяє створити цифрову історію технічного стану повітряного судна;

- проведення експрес-контролю якості паливно-мастильних матеріалів і спеціальних рідин у польових умовах.

Висновки. Мобільні лабораторії підвищують оперативність обслуговування, зменшують витрати і простої, що покращує готовність техніки й ефективність відновлення в бойових умовах. Їх впровадження — важливий крок до зміцнення боєздатності авіації. Виявлення несправностей на рівні агрегатів, субблоків або електронних плат, що дозволяє оперативно приймати рішення про заміну або відновлення елементів.

Список використаних джерел:

1. Соловйов В.І. Дослідження ефективності системи відновлення бортового обладнання літальних апаратів за допомогою математичної моделі альтернувального процесу відновлення / Соловйов В.І., Петренко В.Г., Пустовий С.О. // Труди академії. – 2003. – № 43. – С. 284 – 291.

2. Розвиток теорії та практики підготовки і застосування Повітряних Сил ЗС України в сучасних умовах. Інв. № 46892. – К.: НУОУ ім. І. Черняховського, 2016.

3. Наставлення з технічного забезпечення авіації Збройних Сил України (НТЗ-99). – Вінниця, МОУ, 2000. – 336 с.

Дерев'янко Анастасія Олександрівна *– слухач 251 навчальної групи інженерно авіаційного факультету, e-mail: dere8inko@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Вінниця, вул. Андрія Первозванного, буд. 6, інд. 21027, Україна. ORCID https://orcid.org/0009-0001-5981-2113*

Anastasia Derevianko – *student 251 of the training group of the aviation engineering faculty, e-mail: dere8inko@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Vinnytsia, Andriy Pervozvanny Street, building 6, Ind. 21027, Ukraine. ORCID https://orcid.org/0009-0001-5981-2113*

УДК 629.3.08:004.8

Яценко К. Г., Луценко Е. О.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА «РОЗУМНИХ ОКУЛЯРІВ» ДЛЯ РЕМОНТУ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ У БОЙОВИХ УМОВАХ

Анотація: *у тезах розглядається перспектива застосування інноваційних технологій штучного інтелекту та доповненої реальності (наприклад, «розумних окулярів») для технічного обслуговування і ремонту автомобільної техніки Збройних Сил України у бойових умовах. Проаналізовано досвід провідних армій світу, зокрема США, щодо використання великих мовних моделей і носимих AR-пристроїв для підтримки фахівців ремонтних підрозділів. Аналіз бойового досвіду ЗСУ виявляє гостру потребу у швидких і точних сервісних рішеннях. У роботі виділено існуючі успішні рішення (AR-системи US Navy, проєкт Holochip H50 тощо) та запропоновано напрями адаптації цих технологій під українські реалії.*

Ключові слова: *штучний інтелект, доповнена реальність, розумні окуляри, обслуговування техніки, ремонт.*

Abstract: *the theses examine the prospects for applying innovative artificial intelligence and augmented reality technologies (such as "smart glasses") to the technical maintenance and repair of automotive equipment of the Armed Forces of Ukraine under combat conditions. The experience of the world's leading armies, particularly that of the United States, in using large language models and wearable AR devices to support repair unit specialists has been analyzed. The analysis of the AFU's combat experience reveals an urgent need for rapid and precise service solutions. The paper highlights existing successful implementations (such as the US Navy AR systems, the Holochip H50 project, etc.) and proposes directions for adapting these technologies to Ukrainian operational realities..*

Keywords: *artificial intelligence, augmented reality, smart glasses, equipment maintenance, repair.*

У сучасній війні ефективне технічне обслуговування (ТО) і ремонт автомобільної техніки є критично важливим для боєздатності підрозділів. Інтенсивне використання бронетехніки і автомобілів ускладнює логістику ремонту: як вказують експерти, за напружених бойових дій до третини танків одного підрозділу може одночасно перебувати на ремонт [1]. Це підкреслює необхідність впровадження нових рішень для зменшення часу простою. Одним із таких рішень є інтелектуальні системи підтримки ремонту на основі штучного інтелекту (ШІ) і доповненої реальності. Метою даної роботи є огляд світових досягнень в цій сфері, аналіз українського бойового досвіду обслуговування техніки та формування конкретних напрямів подальшого розвитку цих технологій з науково-практичним обґрунтуванням.

Видатним прикладом є ініціатива армії США щодо використання великих мовних моделей (LLM) у підтримці ремонту машин. За повідомленням Defense One, «Армія США завантажує сотні годин відеозаписів у велику мовну модель для покращення технічного обслуговування Infantry Squad Vehicle і сподівається, що з часом солдати використовуватимуть AI-окуляри для ремонту техніки» [2]. Головний технологічний директор армії Алекс Міллер повідомив про плани запускати LLM «на обличчях солдатів у вигляді окулярів або на їхніх телефонах» (Android Tactical Assault Kit), а також безпосередньо в машинах для ТО [2]. Для ремонту Infantry Squad Vehicle (посиленої версії пікапа Chevy Colorado) вже навчають ШІ на

«приблизно 1000 годин відеозаписів наших інженерів та ремонтників, які просто ремонтують машину». Метою цієї програми є створення візуальної LLM у поєднанні з AR-окулярами (наприклад, HoloLens), яка дозволить військовослужбовцю діагностувати несправність і виконувати покрокові процедури, необхідні для її усунення. [2]. Також США вивчає носимі AR-окуляри Meta Ray-Ban. Наприклад, Армія США проводить пілотний проект, де солдати у Ray-Ban AI-окулярах записують процес ремонту і використовують генеративні моделі, щоб

допомагати менш досвідченим механікам проходити техобслуговування Infantry Squad Vehicle [3].

Паралельно із проектами армії, інші відомства також експериментують з AR. Так, у Військово-морських силах США реалізовано систему ARMS (Augmented Reality Maintenance System). За даними Naval Sea Systems Command, система доповненої реальності застосовує технологію AR для накладання цифрової інформації – зокрема покрокових інструкцій, технічних схем і даних сенсорів – безпосередньо на поле зору техніка за допомогою гарнітури або мобільного пристрою. Ці системи підвищують ефективність, точність і безпеку обслуговування, забезпечуючи керівництво в реальному часі, віддалену допомогу експертів, полегшуючи навчання та оптимізуючи робочі процеси [4]. Командир NSWC Port Hueneme Т. Холмс зазначив, що «найбільший успіх – у тому, що проблему вирішив військовослужбовець, а не зовнішній експерт» [5]. Аналогічні технічні рішення будуть ефективними і підчас ремонту автомобільної техніки, коли ми отримуємо швидку підтримку, не чекаючи прибуття відповідних спеціалістів-ремонтників, а якщо без них не обійтись, то вони прибудуть з потрібними інструментами і запасними частинами, тим самим заощаджуючи час на повернення машини в справний стан.

Також ведуться розробки спеціалізованих AR-окулярів, призначених для використання механіками під час технічного обслуговування та ремонту. Наприклад, компанія Holochip створює AR-гарнітуру H50: згідно з інформацією виробника, вона забезпечує hands-free доступ до цифрових інструкцій, 3D-схем та діагностики у реальному часі, що підвищує ефективність ремонту та знижує помилки [6]. Пристрій підтримує жестове керування, яке дає змогу користувачеві взаємодіяти з віртуальним інтерфейсом (зокрема «гортати» віртуальне керівництво перед собою), а також функцію see-what-I-see, що забезпечує віддаленим експертам можливість спостерігати за роботою з точки зору оператора [6]. Аналогічні досліди з AR/VR в ремонтних цілях ведуться й у інших арміях: наприклад, армії Ізраїлю й США розробляють окуляри IVAS для навчання механіків бронемашин.

Бойовий досвід ремонту засвідчує нагальну потребу інтеграції цих технологій з українськими реаліями. Нині інфраструктура технічного обслуговування активно модернізується за рахунок впровадження цифрових технологій. Від початку повномасштабної війни частину ключової ремонтної документації було перенесено до хмарних сховищ (за підтримки компанії Microsoft), а стабільний канал зв’язку забезпечено через супутникову мережу Starlink [1]. Це формує базу для впровадження AI-сервісів: доступ до актуальних схем і інструкцій можна отримати онлайн прямо з місця ремонту. Наступні кроки мають включати створення українськомовної LLM-платформи для діагностики технічних несправностей, адаптацію AR-гарнітур під польові умови ЗСУ та інтерфейс українською, а також інтеграцію AR-додатків з існуючими електронними журналами ТО. Наприклад, для ремонтників на передовій достатньо мати AR-окуляри, планшет або мобільний телефон із встановленим додатком, щоб активувати покрокову інструкцію з ремонту конкретної машини. Аналіз досвіду США дає змогу розробити відповідні регламенти та програми підготовки особового складу щодо використання подібних технологій.

Важливим завданням є науково-практична розробка апаратних засобів та програмного забезпечення, стійких до впливу польових умов і підвищеної вологості, відповідно до чинних стандартів, установлених для військової техніки. Необхідно забезпечити високу автономність роботи та оптимізоване енергоживлення AR-окулярів, щоб запобігти їх перегріванню під час тривалої експлуатації в умовах підвищеної температури (як зазначає американський офіцер [2]). Крім того, слід передбачити захищений канал обміну даними з хмарними сервісами та віддаленими експертами.

Практичні пропозиції:

розробити вітчизняні або локально адаптовані імпортні гарнітури доповненої реальності (наприклад, на базі Microsoft HoloLens 2), які відповідатимуть вимогам захисту, ергономічності та масово-габаритних характеристик, придатних для експлуатації у польових умовах;

створити LLM-асистента, побудованого на основі української технічної термінології та бази знань, сформованої з бойового досвіду технічного обслуговування і ремонту, а також технічних документів, стандартів і експлуатаційних настанов;

інтегрувати AR-додаток із наявними інформаційними системами технічного обслуговування та ремонту, включно з електронними сервісними картами, цифровими базами діагностичних даних і системами електронного моніторингу технічного стану, зокрема телеметрією сучасних бойових машин;

забезпечити підготовку та підвищення кваліфікації фахівців з технічного обслуговування і ремонту автомобільної техніки, а також водіїв, щодо ефективного застосування сучасних AR/AI-технологій шляхом проведення практичних занять на основі досвіду збройних сил країн- партнерів і розроблення вітчизняних навчально-методичних програм з урахуванням бойового досвіду Збройних Сил України.

Отже, поєднання передового зарубіжного досвіду та українського бойового досвіду дозволить модернізувати систему технічного забезпечення Збройних Сил України. Використання ШІ та AR-окулярів може значно скоротити час діагностики та ремонту, зменшити простої машин і підвищити оперативну готовність. З наукової точки зору, це відкриває можливості для подальших досліджень з моделювання AR-інтерфейсів та оптимізації алгоритмів діагностики на базі LLM. Практичне обґрунтування і апробація таких рішень на полігоні або у бойових умовах мають стати наступним кроком.

Список використаних джерел:

1. Алексич М., Цврк С., Божович Д. Analysis of Land Army Maintenance Techniques in the War in Ukraine // Military Review, May–June 2023.
2. Вільямс Л. С. The Army wants AI to aid in vehicle repairs // Defense One. 23 Aug. 2025.
3. Філліпс М. Army expands AI use with smart glasses for mechanics // Fox News. 20 Sept. 2025.
4. Over 20 Augmented Reality Maintenance Kits Delivered to Navy Fleet // Homeland Security Today, 11 Sept. 2025.
5. Варела Б. First Augmented Reality Maintenance Systems Operational on Five Ships // Naval Sea Systems Command (US Navy). 16 May 2025.
6. Парк Е. Navy Maintenance Made Easier with Augmented Reality // National Defense Magazine. 5 May 2025.

Яценко Костянтин Григорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: mailkod2014@gmail.com.

Луценко Едуард Олександрович – старший викладач кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: luc_ed@ukr.net.

Yatsenko Kostiantyn Hryhorovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: mailkod2014@gmail.com.

Lutsenko Eduard Oleksandrovych – senior teacher of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: luc_ed@ukr.net.

УДК 629.7:681.5

Георгієв Ю. В., Сікорський А. В., Купрієнко Т. М.

УДОСКОНАЛЕННЯ БЛОКУ КОМАНДНИХ СИГНАЛІВ ПАЛИВОМІРНО-ВИТРАТОМІРНОЇ СИСТЕМИ СТР-7-2 ЛІТАКА Су-27 ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ КОНТРОЛЮ ПАЛИВНИХ ЗАПАСІВ

Анотація. *Паливомірно-витратомірна система (ПВС) СТР-7-2, встановлена на винищувачі Су-27, забезпечує вимірювання рівня та витрати пального, визначення загального запасу палива та формування інформації для відображення на бортових індикаторах. В умовах сучасної інтенсивної експлуатації авіаційної техніки та бойових дій зростають вимоги до точності та надійності ПВС, оскільки будь-яка похибка може призвести до небезпечних ситуацій під час виконання польотів. Мета роботи — розробити пропозиції щодо модернізації блоку командних сигналів системи СТР-7-2 з акцентом на підвищенні точності вимірювання, зменшенні похибки під час маневрів та покращенні діагностики стану системи.*

Запропоновані заходи включають впровадження цифрової фільтрації, резервування каналів обробки сигналів, удосконалення алгоритмів самодіагностики та оптимізацію роботи сенсорної частини. Передбачається, що це дозволить суттєво зменшити інтегральну похибку, стабілізувати роботу системи під впливом динамічних навантажень та вібрацій, а також поліпшити безпеку польотів

Ключові слова: *Су-27, СТР-7-2, паливомірна система, командні сигнали, точність вимірювання, цифрова фільтрація, самодіагностика, модернізація.*

Abstract: *The STR-7-2 Fuel Measurement and Flow System installed on the Su-27 fighter aircraft provides fuel level measurement, consumption calculation, and data transmission to onboard display units. Increasing combat activity and dynamic flight conditions demand enhanced accuracy and reliability of fuel indication systems. Any measurement deviation may lead to critical flight risks. The goal of this study is to develop proposals for improving the command signal processing unit of the STR-7-2 through digital filtering, signal redundancy, and built-in diagnostic functionality.*

Proposed solutions include modernizing sensor signal processing, introducing adaptive filtering algorithms, multi-channel verification, and enhancing self-diagnostics. These upgrades are expected to reduce cumulative measurement errors, increase system resilience under g-loads and vibration, and enhance operational safety.

Keywords: *Su-27, STR-7-2, fuel measurement, command signals, reliability, digital filtering, modernization.*

Система контролю пального є критично важливою складовою будь-якого бойового літака. Для винищувача Су-27 точність визначення запасу пального має особливе значення, оскільки літак виконує маневри з великими перевантаженнями, різкими кутовими швидкостями та змінними режимами роботи двигунів. У таких умовах традиційні аналогові схеми обробки сигналів ПВС можуть давати значні похибки, що призводить до спотворення даних про фактичний залишок пального на борту.

СТР-7-2 виконує вимірювання рівня пального у баках, контроль витрати та формування командних сигналів для індикації в кабіні пілота. Однак система була розроблена з урахуванням технологічного рівня 1980-х років, тому потребує вдосконалення для відповідності сучасним вимогам до точності та надійності.

1. Аналіз умов експлуатації та вихіде.

Функціонування паливомірно-витратомірної системи СТР-7-2 на літаку Су-27 нерозривно пов’язане з умовами виконання польотів, які характеризуються високими перевантаженнями, різкими змінами просторового положення літака та значним впливом вібраційних навантажень. За таких обставин аналогові тракти обробки сигналів, закладені в конструкцію системи ще на етапі її розробки у 1980-х роках, демонструють обмежену стійкість до перешкод і зовнішніх факторів. Це проявляється у коливаннях індикації рівня пального, що в окремих випадках може призводити до неправильної оцінки запасу пального екіпажем та формування ризикових рішень у критичних фазах польоту.

2. Перехід до цифрової архітектури та адаптивна фільтрація сигналів

Зважаючи на ці виклики, запропоновано модернізацію системи шляхом переходу до цифрової архітектури обробки командних сигналів. Її фундаментальним елементом є впровадження адаптивних фільтраційних алгоритмів, зокрема фільтра Калмана, що забезпечує динамічне пригнічення шумів і розділення корисного сигналу навіть у складних аеродинамічних режимах. Додатково, інтеграція даних з інерціальної навігаційної системи дозволить враховувати прискорення та положення літака в просторі, забезпечуючи більш точну та стабільну індикацію кількості залишкового пального.

3. Резервування каналів даних та підвищення відмовостійкості

Окрему увагу приділено підвищенню відмовостійкості системи за рахунок впровадження механізмів структурного резервування та логічного голосування каналів. Це означає, що показання між різними сенсорами і каналами обробки будуть взаємно перевірятися, а сумнівні або нестабільні значення автоматично блокуватимуться. Такий підхід дозволяє виключити помилкове формування командних сигналів, підвищуючи достовірність інформації, яка надходить до кабіни пілота, особливо в режимах високої тактичної насиченості.

4. Самодіагностика та прогнозування технічного стану системи

Не менш важливим етапом модернізації є впровадження розширеної системи самодіагностики та прогнозування технічного стану обладнання. Передбачається, що система зможе у режимі реального часу аналізувати працездатність сенсорів, обчислювальних модулів та ліній передачі сигналів, заздалегідь визначаючи ознаки потенційного відхилення від нормативного режиму. Такий підхід відповідає сучасним вимогам авіаційної галузі, де пріоритетом є не лише оперативна безвідмовність, а й прогнозованість стану систем.

5. Очікувані результати модернізації та вплив на ефективність застосування

Загалом, очікується, що реалізація запропонованих рішень забезпечить суттєве зниження інтегральної похибки визначення запасу пального до рівня 1–1,5%, підвищить стабільність роботи системи в умовах активного маневрування та бойового навантаження, а також сприятиме формуванню більш точних і своєчасних рішень екіпажем у ході виконання польотних завдань. Це, у свою чергу, позитивно вплине на загальну ефективність застосування літальних апаратів винищувальної авіації та рівень безпеки польотів у сучасних умовах.

Список використаних джерел:

1. ICAO Doc 10088. Manual on Civil Aviation Fuel Monitoring, International Civil Aviation Organization, 2022. Available at: https://www.icao.int (date of access: 05.11.2025).
2. Merhav S. Aerospace Sensor Systems and Applications, Springer, 2016. Available at: https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4612-3996-3 (date of access: 05.11.2025).
3. RTCA DO-160G. Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment, RTCA, 2014. Available at: https://www.rtca.org (date of access: 05.11.2025).
4. AVT-306-19. Sensing for Aerospace Fuel Systems and Combustor Health, NATO Science & Technology Organization, 2023. Available at: https://publications.sto.nato.int (date of access: 05.11.2025).
5. Ємець О.М., Лисенко В.П. Методи підвищення точності контролю витрати палива в авіаційних системах. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил, 2021. Available at: https://www.hups.mil.gov.ua (date of access: 05.11.2025).
6. Проблеми координації військово-технічної та оборонно-промислової політики України. Матеріали XX науково-практичної конференції. — ХНУПС ім. І. Кожедуба, Харків, 2023 — 312 с. Available at: https://hups.mil.gov.ua/assets/doc/science/conference/20/xx-conf- hnups.pdf (date of access: 05.11.2025).

Георгієв Юрій Вікторович *– старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023 email: yura.georgiev.74@ukr.net ORCID:https://orcid.org/0009-0004-7189-3966*

Сікорський Антон Вікторович *– здобувач освітнього рівня магістр кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: sikorskyi007@gmail.com*

Купрієнко Тарас Михайлович *– здобувач освітнього рівня магістр кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: taraskuprienko@icloud.com*

Heorhiyev Yurii *– Senior Lecturer of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Aviation Engineering Faculty, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: yura.georgiev.74@ukr.net ORCID:https://orcid.org/0009-0004-7189-3966*

Sikorskyi Anton *– Master's Degree Candidate of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: sikorskyi007@gmail.com*

Kupriienko Taras *– Master's Degree Candidate of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: taraskuprienko@icloud.com.*

УДК 629.735.083.5

Панкул О. М., Алтухов М. В., Кравченко І. В.

РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ БЕЗВІДМОВНОСТІ РОБОТИ ШАСІ ПОВІТРЯНОГО СУДНА

Анотація. *У роботі розглянуто процеси технічної експлуатації, обслуговування і ремонту шасі повітряного судна, а також проведено аналіз типових відмов під час експлуатації з урахуванням досвіду бойових дій. Запропоновано узагальнену модель підвищення безвідмовності роботи шасі, що поєднує технічні, організаційні та експлуатаційні заходи. Особлива увага приділена системному підходу до управління станом елементів шасі та своєчасному прийняттю рішень щодо обслуговування на основі фактичного технічного стану.*

Ключові слова: *шасі, безвідмовність, надійність, авіаційна техніка, технічне обслуговування, діагностика.*

Annotation.*The work considers the processes of technical operation, maintenance and repair of the aircraft chassis, as well as an analysis of typical failures during operation taking into account the experience of combat operations. A generalized model for increasing the reliability of the chassis operation is proposed, which combines technical, organizational and operational measures. Special attention is paid to a systematic approach to managing the condition of chassis elements and timely decision-making on maintenance based on the actual technical condition.*

Key words: *chassis, reliability, reliability, aviation equipment, maintenance, diagnostics.*

У тезі розглянуто основні напрями підвищення безвідмовності роботи шасі повітряного судна.Запропоновано комплекс технічних, організаційних та експлуатаційних заходів, спрямованих на зниження рівня відмов і підвищення надійності авіаційної техніки.Безвідмовність роботи шасі є однією з найважливіших характеристик експлуатаційної надійності повітряного судна. Шасі забезпечує безпечне виконання зльоту, посадки, руління та стоянки літака, тому навіть незначна відмова елементів цієї системи може призвести до серйозних наслідків, включно з пошкодженням літака або загрозою життю екіпажу та пасажирів.Проблема підвищення безвідмовності роботи шасі потребує комплексного підходу, який охоплює конструкторське вдосконалення, удосконалення технології виготовлення, поліпшення системи технічного обслуговування та підвищення кваліфікації персоналу.Одним із головних напрямів є удосконалення конструкції шасі. Використання сучасних матеріалів – титанових сплавів, композиційних матеріалів, високоміцних сталей – дозволяє зменшити масу та підвищити міцність вузлів. Оптимізація конструкції за допомогою методів комп’ютерного моделювання (CAD/CAE систем) дає змогу знизити навантаження на окремі елементи, підвищити їх довговічність і забезпечити рівномірний розподіл зусиль під час посадки.Важливим аспектом є застосування сучасних методів технічного діагностування. Використання неруйнівного контролю (ультразвукові, магнітопорошкові, вихрострумові методи) дає змогу своєчасно виявляти дефекти, що розвиваються, запобігаючи відмовам під час експлуатації. Впровадження автоматизованих систем моніторингу технічного стану (on-condition maintenance) дозволяє оцінювати параметри роботи шасі в режимі реального часу та планувати технічне обслуговування за фактичним станом. Крім того, організаційні заходи мають не менше значення. Підвищення кваліфікації інженерно-технічного складу, удосконалення нормативно-технічної документації, впровадження систем управління якістю технічного обслуговування (QMS) дозволяють мінімізувати вплив людського фактора на виникнення відмов. Значний ефект дає також аналіз причин відмов і відстеження тенденцій у роботі шасі конкретних типів літаків. Це дозволяє виявляти «слабкі місця» конструкції та визначати пріоритетні напрями удосконалення.Висновки. Розробка заходів щодо підвищення безвідмовності шасі повітряного судна є важливою складовою підвищення загальної безпеки польотів. Комплексне впровадження технічних, організаційних і експлуатаційних рішень сприятиме зниженню кількості відмов, продовженню ресурсу агрегатів і підвищенню ефективності експлуатації авіаційної техніки.

Список використаних джерел

1. Конструкція та міцність літальних апаратів. Методика виконання проектувального розрахунку злітної маси та компонування літального апарату: Навчально-методичний посібник / Д.Г. Шарко. –Х.: ХУПС, 2011.–60с.

2. Досвід та особливості ІАЗ застосування авіації Повітряних Сил Збройних Сил України при активній фазі російсько-української війни: довід. / Скоренький П.Е., О.В. Давидов, Б.М. Іващук, І.Б. Ковтонюк, О.А. Круць, О.А.; М-во оборони України, ХНУПС ім. І. Кожедуба. – Харків, 2023.

3. Нові, модернізовані та перспективні зразки авіаційної техніки та озброєння, що застосовуються ЗСУ в ході російсько-української війни: довід. Ч.1. / Б.М. Іващук, Ю.В. Скорий, Р.В. Лященко // М-во оборони України, ХНУПС ім. І. Кожедуба. – Харків, 2023.

4. Нові, модернізовані та перспективні зразки авіаційної техніки та озброєння, що застосовуються ЗСУ в ході російсько-української війни: довід. Ч.2./ Б.М. Іващук, Ю.В. Скорий, Р.В. Лященко // М-во оборони України, ХНУПС ім. І. Кожедуба. – Харків, 2023.

Панкул Олександр Миколайович *– старший викладач кафедри інженерно-авіаційного забезпечення, email:,o.m.pankul@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба ORCID https://orcid.org/ 0000-0003-3005-0730 Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Алтухов Максим Вікторович *– здобувач вищої освіти ступеня бакалавр кафедри інженерно-авіаційного забезпечення, e-mail: maxsim0909@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Кравченко Ігор Валерійович *– здобувач вищої освіти ступеня бакалавр кафедри інженерно-авіаційного забезпечення, e-mail: ,igorka20098@gmail.com, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м.Харків Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Сумська 77/79, 61023.*

Oleksandr Pankyl *– senior lecturer Department of Aviation Engineering, email:o.m.pankul@gmail.com Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023. ORCID https://orcid.org/ 0000-0003-3005-0730*

Maksim Altukhov *– higher education applicant with a bachelor's Department of Aviation Enginnering , e-mail: maxsim0909@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

Ihor Kravchenko *– higher education applicant with a bachelor's Department of Aviation Enginnering, e-mail: igorka20098@gmail.com, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Sumska 77/79, 61023.*

УДК 621.396

Щерба А. А., Мартиненко С. А., Красник Я. В.

ОСОБЛИВОСТІ НАВІГАЦІЇ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ TERPROM

Анотація: *розглянуто принцип дії та функціональні особливості навігаційної системи TERPROM. Проведено SWOT-аналіз системи, порівняння з технологіями TERCOM і DSMAC, а також визначено ключові напрями протидії ракетам, оснащеним TERPROM.*

Ключові слова: *TERPROM, DSMAC, TERCOM, навігаційна корекція, радіовисотомір.*

Abstract: *the principle of operation and functional features of the TERPROM navigation system. A SWOT analysis of the system is carried out, a comparison with TERCOM and DSMAC technologies is made, and key areas of counteraction to missiles equipped with TERPROM are also identified.*

Keywords: *TERPROM, DSMAC, TERCOM, GPWS, navigation correction, radio altimeter.*

В умовах насиченого протиповітряного захисту та активної радіоелектронної боротьби (РЕБ), яка спрямована на придушення супутникових систем (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou), критично зростає значення автономних та стійких до завад навігаційних систем [1]. Однією з найбільш передових і надійних технологій цього типу є TERPROM.

TERPROM (TERrain PROfile Matching – зіставлення з профілем рельєфу) – це сучасна військова навігаційна система, яка забезпечує автономну корекцію інерціальної навігаційної системи (ІНС) шляхом зіставлення виміряного профілю висот із бортовою цифровою картою. Вона забезпечує ракеті не лише точність, але й високу скритність завдяки польоту на надмалих висотах, огинаючи рельєф місцевості [2].

Принцип дії та механізм корекції:

збір даних: під час польоту ракета летить на низькій висоті, а її радіовисотомір постійно вимірює одномірний профіль висот над землею;

зіставлення (Matching): отриманий профіль порівнюється з цифровою картою висот (DEM – Digital Elevation Model) маршруту. Алгоритм TERPROM є більш досконалим, ніж у TERCOM, і шукає найкраще співпадіння виміряного профілю з унікальним "відбитком" рельєфу на карті;

автономна корекція: на основі унікальних "відбитків" рельєфу система обчислює точне місцеположення і використовує його для коригування накопиченої помилки ІНС;

додаткові функції: TERPROM часто інтегрується як система попередження про наближення до землі та перешкоди (GPWS – Ground Proximity Warning System), що гарантує безпечний і максимально низький політ.

TERPROM є ключовим елементом навігаційного комплексу крилатих ракет (Storm Shadow, SCALP-EG, SOM), а також широко застосовується на тактичній авіації (F-16, Eurofighter Typhoon) для польотів на низькій висоті.

Таблиця 1 – SWOT-аналіз системи TERPROM

Критерій	Переваги	Недоліки
Стійкість	Висока стійкість до РЕБ, оскільки корекція відбувається автономно на основі радіовисотоміра, а не зовнішніх радіосигналів	Чутливість до рельєфу: неефективна у районах з одноманітним рельєфом, де недостатньо унікальних даних для надійного зіставлення [3]
Скритість	Дозволяє наднизький політ із огинанням рельєфу ("обтікання" рельєфу), що значно ускладнює виявлення традиційними радарами	Вимоги до даних: потрібна точна, актуальна та деталізована цифрова карта висот (DEM) маршруту. Застарілі дані знижують ефективність
Точність	Високоточна корекція ІНС на маршевій ділянці в умовах складного рельєфу	Вартість: створення, оновлення та зберігання необхідних високоякісних DEM-даних є ресурсомістким процесом

Аналіз табл. 1 показує, що ключовим недоліком TERPROM, успадкованим від TERCOM, є залежність від контрасту рельєфу. Якщо місцевість пласка (наприклад, водна поверхня або широка рівнина), профіль висот є одноманітним. В таких умовах алгоритм не може надійно знайти унікальне співпадіння, що призводить до накопичення помилки ІНС та змушує ракету тимчасово покладатися на супутниковий сигнал (якщо він доступний) або зменшує загальну точність [4].

TERPROM є еволюційним розвитком TERCOM, а DSMAC (Digital Scene-Matching Area Correlator) виступає як комплементарна система для фінальної ділянки польоту.

Таблиця 2 – Порівняльний аналіз: TERPROM, TERCOM та DSMAC

Технологія	TERCOM	TERPROM	DSMAC
Тип даних	Профіль висот (виміри радіовисотоміра)	Профіль висот (виміри радіовисотоміра)	Двовимірне зображення (оптичні або радарні дані)
Основна роль	Маршева корекція на низькій висоті	Маршева корекція, огинання рельєфу та безпека польоту (GPWS)	Надвисокоточне термінальне наведення
Стійкість до РЕБ	Менш вразлива до глушіння, ніж GPS	Висока стійкість, автономний принцип роботи	Найвища стійкість до електронних завад, оскільки базується на оптичних даних
Кінцева точність	Висока на марші	Висока на марші	Надзвичайна точність (до декількох метрів)

Порівняльний аналіз табл. 2 розкриває ключові відмінності TERPROM:

у порівнянні з TERCOM: TERPROM використовує більш досконалі алгоритми, що підвищує надійність зіставлення профілю; це, по суті, друге покоління навігації за рельєфом;

у порівнянні з DSMAC: ці системи не є конкурентами, а працюють послідовно в рамках однієї ракети (наприклад, Tomahawk); TERPROM забезпечує скритність та корекцію на марші на основі висотних даних, тоді як DSMAC використовує візуальні характеристики місцевості, порівнюючи фотографію цілі з бортовим еталонним зображенням, щоб забезпечити мінімальну помилку (до декількох метрів) на фінальному етапі; DSMAC є менш вразливою до електронних завад, оскільки базується на оптичних даних [5].

Стійкість TERPROM до РЕБ означає, що протидія має бути зосереджена не лише на придушенні супутникового сигналу, а й на дезінформації ключового сенсора TERPROM – радіовисотоміра. Для боротьби необхідний багатошаровий та комплексний підхід.

Основними напрямками протидії ракетам з TERPROM є:

1. Радіоелектронна боротьба:

- глушіння/спотворення радіовисотомірів: це найбільш прямий і ефективний спосіб боротьби з TERPROM. Якщо радіовисотомір видає хибні дані, система не зможе знайти збіг з картою, припинить коригувати ІНС, що призведе до швидкого накопичення помилки та втрати курсу;

- глушіння GPS є вторинним, оскільки TERPROM сам по собі є стійким до нього.

2. Дезінформація навігаційних систем:

- створення штучних змін рельєфу: оскільки TERPROM залежить від відповідності фактичного профілю карті, створення штучних перешкод або маскування природних рельєфних "відбитків" на ключових ділянках маршруту може спотворити навігаційні дані, спричиняючи помилку у визначенні місця;

- дезінформація карт: впровадження скомпрометованих карт висот у бази даних противника.

3. Розвиток систем раннього виявлення:

- багатошарові радарні мережі: ракети TERPROM летять у зоні "радарної тіні" рельєфу. Для їх виявлення критично важливі радари з довгим хвильовим діапазоном та багатошарові

мережі низьковисотних/мобільних радарів, а також теплові/ІЧ-сенсори, що працюють за межами прямої видимості.

4. Протиракетна оборона

- мобільні ЗРК та комплекси малої дальності: низький профіль польоту зменшує час на реакцію. Для ефективного перехоплення необхідні ЗРК з малою затримкою реакції та високою мобільністю ("Patriot", "Iron Dome").

Таким чином, TERPROM є високотехнологічною навігаційною системою, яка забезпечує автономну корекцію ІНС, скритність та точність польоту в умовах складного рельєфу. Основною вразливістю системи є залежність від контрастності рельєфу та точності DEM-карт. Ефективна протидія TERPROM потребує багаторівневого підходу: РЕБ проти радіовисотоміра, дезінформація рельєфу, розвиток систем раннього виявлення та мобільних ЗРК. Врахування особливостей TERPROM є критично важливим для планування оборони та модернізації засобів виявлення і перехоплення високоточних ракет.

Список використаних джерел:

1. Robins, Alan J. Recent Developments in the TERPROM Integrated Navigation System, *Proceedings of the 44th Annual Meeting of The Institute of Navigation*, Annapolis, Maryland, June 1988, pp. 58-66.
2. Cowie M., Wilkinson N. The TERPROM Digital Terrain System. *Journal of Aerospace Sciences & Technologies*. 2009. Vol. 61 (1). P. 259–270.
3. Навігація за рельєфом (ракетна зброя). URL: https://www.collinsaerospace.com/ (дата звернення: 05.11.2025).
4. Щерба А.А. Особливості навігації за технологією TERCOM. *Актуальні проблеми діяльності складових сектору безпеки і оборони* : тези доп. всеукр. наук.-пр. конф., 24 жовт. 2024 р., Харків : Вид-во НАНГУ, 2024. С. 523–525.
5. Щерба А.А. Особливості навігації за технологією DSMAC. *Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави* : зб. тез доп. VI міжн. наук.-пр. конф., 18 жовт. 2024 р., Одеса : Вид-во ВА, 2024. С. 215-217.

Щерба Андрій Анатолійович *– кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу (ракетних військ та артилерії) Наукового центру Сухопутних військ Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, e-mail shch_ay@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000-0002-4696-3780*

Мартиненко Сергій Анатолійович *– начальник науково-дослідного відділу (ракетних військ та артилерії) Наукового центру Сухопутних військ Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, e-mail sam2604@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000-0003-3790-2756*

Красник Ярослав Васильович *– старший науковий співробітник науково-дослідного відділу (ракетних військ та артилерії) Наукового центру сухопутних військ Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, e-mail rao.nz.sv.lviv@i.ua, ORCID https://orcid.org/0000-0001-9872-3984*

Shcherba Andriy Anatoliyovych *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Army Scientific Center of the Hetman Petro Sahaidachny National Army Academy, Lviv, e-mail shch_ay@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000-0002-4696-3780*

Martynenko Serhiy Anatoliyovych *– Head of the Research Department (Missile Forces and Artillery) of the Army Scientific Center of the Hetman Petro Sahaidachny National Army Academy, Lviv, e-mail sam2604@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000-0003-3790-2756*

Krasnyk Yaroslav Vasyliovych *– Senior of the Research Department (Missile Forces and Artillery) of the Army Scientific Center of the Hetman Petro Sahaidachny National Army Academy, Lviv, e-mail rao.nz.sv.lviv@i.ua, ORCID https://orcid.org/0000-0001-9872-3984*

УДК 355.422

Зеленянський С. О.

РОЗРОБКА ГАЗОТУРБІННОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ БПЛА З ЖИВЛЕННЯМ ВІД ГАЗОВИХ КАРТРИДЖІВ

Анотація. *Запропоновано концепцію нової силової установки для безпілотних літальних апаратів (БПЛА) на основі газотурбінного двигуна з живленням від стандартизованих туристичних газових балонів (картриджів). Описано принцип роботи двигуна реактивного типу, де згорання палива відбувається в підніжжях лопатей біля основи ротора, що забезпечує його обертання. Використання газового палива (пропан-бутан) забезпечити тривалість польоту до 2 годин, а конструкція газової турбіни вимагає лише простих технологічних операцій як лазерна різка, токарна обробка, зварювання.*

Ключові слова: *БПЛА, силова установка, газова турбіна, газовий картридж, туристичний газовий балон, тривалість польоту, реактивний двигун.*

Annotation. *A concept for a new power plant for unmanned aerial vehicles (UAVs) based on a gas turbine engine powered by standardized tourist gas cylinders (cartridges) is proposed. The principle of operation of a jet-type engine is described, where fuel combustion occurs at the foot of the blades near the base of the rotor, which ensures its rotation. The use of gas fuel (propane-butane) ensures a flight duration of up to 2 hours, and the design of the gas turbine requires only simple technological operations such as laser cutting, turning, and welding.*

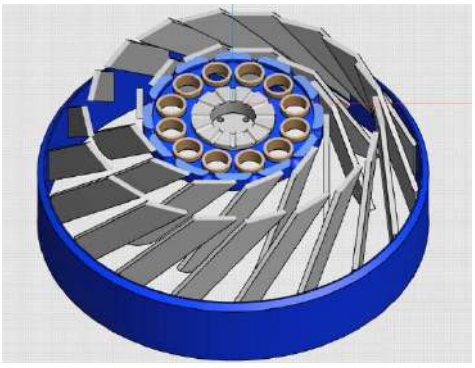
Keywords: *UAV, power plant, gas turbine, gas cartridge, tourist gas cylinder, flight duration, jet engine.*

Сучасні безпілотні літальні апарати (БпЛА) малого класу через масштаби застосування можуть зіткнутися з дефіцитом силових установок.

Цією проблемою займались такі науковці, як: Халатов А.А, Немчін О.Ф, Шквар Є.О., Кузьмін А.В., Кобзар С.Г.

Для вирішення цієї проблеми ми пропонуємо концепцію силової установки на основі спрощеного газотурбінного двигуна (ГТД), що працює на зрідженому газі (пропан-бутан) зі стандартного туристичного газового балона (картриджа) та виготовляється з-за допомогою базових технологічних операцій без застосування складного обладнання. Розроблений двигун має конструкцію газової турбіни реактивного типу. Його основу складає ротор з лопатями, що виконують функцію вентилятора (створюють потік повітря для генерації тяги або підіймальної сили), камера згоряння виконана у вигляді концентрично розташованих фасок (сопел) під центром ротора в основі лопатей.

Газ з балона подається через порожнистий вал у закритий барабан, звідки надходить до камер згоряння під лопать. Під час спалаху газоповітряної суміші у фасці створюється реактивний імпульс, що штовхає лопать (ротор) у напрямку, протилежному часовій стрілці (якщо дивитись зі сторони виходу). Це забезпечує безперервне обертання ротора на високих обертах [Рис.1].



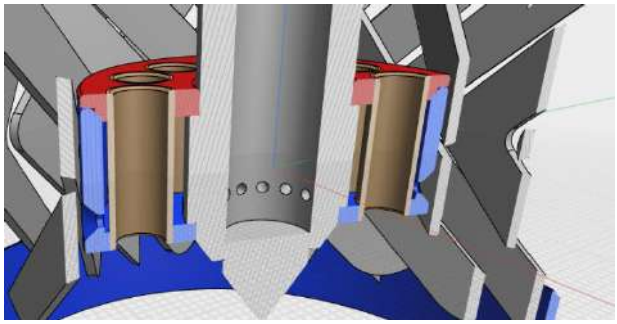


Рис. 1 Вигляд у перерізах по камері згорання.

Усі інші елементи, такі як зворотні лопаті, наскрізні трубки барабана, верхня половина лопаті ротора [Рис. 2], в своїй основі відповідають за охолодження нижньої частини лопаті та барабана ротора.

Конструкція малогабаритна. Діаметр зовнішньої конструкції складає 130 мм, діаметр барабана ротора – 60 мм.

Ребра прямих та зворотних лопатей при обертанні будують геометрію гіперболи (тобто всі лопаті паралельні до вісі обертання).

В результаті застосування цієї концепції можливо швидко створити профіцит двигунів для малорозмірних БПЛА на базі **непрофільних** малих та середніх машинобудівних підприємств.

Рис. 2 Загальний вигляд з інстальованим балоном.

Список використаних джерел:

1. Посилання на модель, виконану в середовищі програми Shapr3D: https://app.shapr3d.com/p/baa618d1-8833-45bd-9ce0-ba69bba47726

2. Халатов А.А, Немчін О.Ф, Шквар Є.О., Кузьмін А.В., Кобзар С.Г. Бойові малорозмірні безпілотні літальні апарати з реактивною тягою: монографія /під ред. Академіка НАН України, д.т.н., проф. А.А. Халатова. – Дніпро: Ліра, 2023. – 144 с.

Зеленянський Сергій Олегович *– студент кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, буд. 95, інд. 20021, e-mail: Sa1n73x@gmail.com*

Serhii Olegovych Zelenianskyi *– student of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 95 Khmelnytske Shose, building 95, index 20021, e-mail: Sa1n73x@gmail.com*

УДК 621.396.965

Джус В. В.

РОЗДІЛЬНА ЗДАТНОСТІ МЕТОДІВ ПРОСТОРОВОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ПЕЛЕНГАЦІЇ ПОСТАНОВНИКІВ ПЕРЕШКОД В УМОВАХ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ

Анотація. *Активне застосування крилатих ракет з постановниками активних шумових перешкод в російсько-українській війні вимагає розширення арсеналу засобів радіоелектронної протидії. Існуючі радіолокаційні засоби мають недостатню роздільну здатність пеленгації таких перешкод. Для перспективних радіолокаційних засобів, що обладнані фазованими антенними решітками, доцільним шляхом суттєвого підвищення їх роздільної здатності є застосування сучасних "надрозділяючих" методів просторового спектрального аналізу. Дослідженню таких методів приділено багато уваги у науковій літературі останніх часів. У роботі описана математична модель, що забезпечує оцінку роздільної здатності пеленгатору, який реалізує методи лінійного передбачення та мінімальної дисперсії. Спектральні функції цих методів залежать від оцінок кореляційних матриць вихідних сигналів фазованих антенних решіток, отриманих по навчаючих вибірках обмеженого обсягу. За результатами математичного моделювання одержані кількісні показники роздільної здатності визначених методів просторового спектрального аналізу. Показана доцільність застосування розглянутих методів при пеленгації перешкод в складних умовах.*

Ключові слова: *просторовий спектральний аналіз, кореляційна матриця, фазована антенна решітка, постановник активних шумових перешкод.*

Abstract. *The active use of cruise missiles with directors of active noise interference in the Russian-Ukrainian war requires the expansion of the arsenal of radio-electronic countermeasures. Existing radar means have insufficient resolution of direction finding of such obstacles. For promising radar devices equipped with phased antenna arrays, the use of modern "super-separating" methods of spatial spectral analysis is expedient by significantly increasing their resolution. Much attention has been paid to the study of such methods in the scientific literature of recent times. The article describes a mathematical model that provides an estimate of the resolution of a direction finder that implements linear prediction and minimum variance methods. The spectral functions of these methods depend on the estimates of the correlation matrices of the output signals of the phased antenna arrays obtained by training samples of the adjacent volume. According to the results of mathematical modeling, quantitative indicators of the resolution of certain methods of spatial spectral analysis were obtained. The expediency of using the considered methods in direction finding obstacles in difficult conditions is shown.*

Keywords: *spatial spectral analysis, correlation matrix, phased array antenna, active noise interference setter.*

Активне застосування засобами повітряного нападу російської федерації засобів постановки активних шумових перешкод при ударах по критичній інфраструктурі України вимагає створення сучасних радіолокаційних станцій з підвищеними можливостями по виявленню та розділенню таких постановників. У роботі обґрунтовано доцільність застосування у таких радіолокаційних станціях найбільш відомих методів просторового спектрального аналізу, а саме методів лінійного передбачення та мінімальної дисперсії в умовах обмеженого об'єму навчаючих вибірок.

Створена модель пеленгатору постановників активних шумових перешкод на основі відомих математичних моделей. Модель пеленгатору передбачає формування вихідних сигналів фазованої антенної решітки визначеного обсягу, яка приймає сигнали від двох постановників перешкод. На основі цих сигналів отримується оцінка кореляційної матриці вихідних сигналів фазованої антенної решітки. Сформована оцінка кореляційної матиці застосовується для розрахунку спектральних функцій методів просторового спектрального аналізу. По наявним випадковим спектральним функціям на основі обраного критерію розділення приймається

рішення про кількість розділених у даному експерименті постановників активних шумових перешкод.

Для оцінки якості методу просторового спектрального аналізу обрано показником імовірність правильного визначення кількості постановників перешкод. Для ситуації прийому сигналів від двох постановників, ця задача інтерпретується, як задачу розділення постановників перешкод. При проведенні дослідження аналізувався вплив обсягу навчаючої вибірки

На основі розробленої моделі пеленгатору постановників активних шумових перешкод отримані нові кількісні показники роздільної здатності сучасних методів просторового спектрального аналізу, а саме методів лінійного передбачення та мінімальної дисперсії, для складних умов виявлення та розділення існуючих постановників активних шумових, що застосовуються на крилатих ракетах, які застосовуються для ударів по критичній інфраструктурі України.

Методи, що розглядались, забезпечують розділення постановників перешкод у жорстких умовах просторового розташування постановників на відстані у 0,1 ширини діаграми спрямованості фазованої антенної решітки. При цьому кращі результати отримано методом лінійного передбачення, а саме при обсязі навчаючої вибірки 30 імовірність розділення збільшувалась майже до 0,9. Зі збільшенням потужності та кутової відстані між постановниками веде до суттєвого збільшення роздільної здатності методу мінімальної дисперсії. Безпосередньо при кутовій відстані між постановникам у 0,3 цей метод досягає імовірності правильного розділення 0,9 при обсязі вибірки у 30.

Реалізація розглянутих методів просторового спектрального аналізу доцільна на основі адаптивних решітчастих фільтрах.

Список використаних джерел:

1. Леховицкий Д. И. Адаптивные решетчатые фильтры для систем пространственно-временной обработки нестационарных гауссовых процессов. Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника. 2018. Т. 61. № 11 (677). С. 607–645. https://doi.org/10.20535/S0021347018110018.
2. Dzhus V., Roshchupkin Y., Kukobko S., Herasymov S., Drob N., Trofymova M. Estimation of Noise Radiance Point Sources Multichannel Direction Finding Systems Resolution by Linear Prediction Method. Information Processing Systems. 2021. Issue 4 (167). P. 19-26. https://doi.org/10.30748/soi.2021.167.02.
3. energy spectra of reflections in pulse Doppler weather radars. Part 3. Statistical analysis of the reconstruction techniques of continuous spectrums of the reflections from meteorological objects. Radioelektronics and Communications Systems. 2017. Vol. 60, iss. 2. P. 47–79. https://doi.org/10.20535/S0021347017020017.
4. Herasimov S. Roshchupkin E. Parameters of monitoring the technical condition of airspace radio engineering monitoring systems. International scientific and practical conference “Application of information technologies in the preparation and operation of law enforcement forces” March 15, 2022. P. 31-32. https://doi.org/10.5281/zenodo.6791433.
5. Herasimov S., Borysenko M., Roshchupkin E., Hrabchak V.I., Nastishin Yu.A. Spectrum Analyzer Based on a Dynamic Filter. Journal of Electronic Testing.Theory and Applications. 2021. Vol. 37, P. 357–368. https://doi.org/10.1007/s10836-021-05954-0.

Джус Володимир Всеволодович *– доцент кафедри озброєння зенітних ракетних військ (зенітних ракетних комплексів середньої дальності) факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: vdzhus@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0003-1762-1543.*

Dzhus Volodymyr Vsevolodovych *– Candidate of Engineering Science, Associate Professor at the Department of Air Defense Missile Forces Armament (medium-range missile systems) of the Faculty of Air Defense Missile Forces at the Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: vdzhus@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0003-1762-1543.*

УДК 621.39:623.1/.7

Геращенко М. Р., Овчаренко О. Ю.

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ШЛЯХІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРЕШКОДОСТІЙКОСТІ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ ВІД АКТИВНИХ ПЕРЕШКОД

Анотація: *проаналізовано особливості сучасних шляхів забезпечення перешкодостійкості радіолокаційних засобів виявлення від активних перешкод. Метою є визначення та аналіз сучасних технічних і алгоритмічних підходів до підвищення перешкодостійкості радіолокаційних засобів виявлення. Встановлені основні напрями підвищення перешкодостійкості такі, як апаратні методи, алгоритмічні методи, цифрова обробка сигналів, когнітивні технології та мережеві рішення. Вказані деякі сучасні тенденції розвитку і очікувані результати систем компенсації завад.*

Ключові слова: *автокомпенсація, перешкодостійкість, активні перешкоди, адаптивна фільтрація, когерентна обробка, цифрові обчислювальні підсистеми, інтеграція.*

Abstract: *the features of modern approaches to ensuring the jamming resistance of radar detection systems against active interference have been analyzed. The aim is to identify and analyze current technical and algorithmic methods for improving the jamming resistance of radar detection systems. The main directions of enhancement have been established, including hardware methods, algorithmic methods, digital signal processing, cognitive technologies, and network-based solutions. Several modern development trends and expected results of interference compensation systems are outlined.*

Keywords: *autocompensation, jamming resistance, active interference, adaptive filtering, coherent processing, digital computing subsystems, integration.*

Сучасні бойові дії характеризуються активним використанням радіоелектронної боротьби (РЕБ), тому питання підвищення перешкодостійкості є ключовим для ефективного функціонування зенітно-ракетних комплексів (ЗРК). Системи компенсації активних перешкод (ECCM – Electronic Counter-Counter Measures) забезпечують збереження працездатності радіолокаційних станцій та каналів наведення в умовах радіоелектронного впливу противника.

До основних методів компенсації активних перешкод у сучасних ЗРК належать:

1. Просторово-енергетичні методи, які базуються на фільтрації сигналу за просторовими координатами та енергетикою, такі як: моноімпульсне вимірювання кутових координат; адаптивна просторова фільтрація, яка дозволяє швидко змінювати діаграму спрямованості антени (промінь) та формувати в ній “провали” (нулі) у напрямках джерел перешкод; перебудова частоти (Agile Frequency).

2. Частотний метод, такий як: широкосмугова обробка та складні сигнали (Spread Spectrum) (наприклад, лінійно-частотно-модульованих – ЛЧМ) з великою базою сигналу. Після оптимальної обробки (стиснення імпульсу) такий сигнал добре розрізняється на тлі вузькосмугових перешкод. Перевагами такого методу є підвищена завадостійкість та краща роздільна здатність.

3. Методи обробки сигналів, які реалізуються в цифрових обчислювачах ЗРК, та до яких відносяться: адаптивна фільтрація за швидкістю (за доплерівською частотою); аналіз поляризації, що дозволяє відрізнити ціль від перешкоди; стохастична обробка та алгоритми ідентифікації, які прогнозують траєкторію цілі на основі попередніх вимірів.

4. Тактичні та організаційні методи до яких відносяться: метод інтеграції в мережу, так як сучасні ЗРК працюють не ізольовано, а в складі єдиної інформаційно-вогневої мережі. Якщо один ЗРК втрачає ціль через перешкоду, він може отримати дані цілевказівки від іншого засобу розвідки (іншого ЗРК, РЛС дальнього виявлення, літака ДРЛО), який знаходиться в іншому місці і не піддається впливу цієї ж перешкоди; режим “Мовчання” (EMCON – Emission Control) передбачає, те що ЗРК може вимикати випромінювання для маскування своєї позиції і

використовувати дані від сторонніх джерел, що ускладнює противнику постановку прицільної перешкоди.

ЗРК Patriot використовує пасивно-електронно-скановану антенну решітку, частотну та пульс-доплерівську обробку. Система ECCM забезпечує розпізнавання хибних повторів, придушення джемінгу та стійке супроводження цілей у складних радіоелектронних умовах.

ЗРК Nasams у комбінації з радаром AN/MPQ-64 Sentinel використовує цифрову AESA-технологію (активна решітка на базі GaN-модулів), частотне перестроювання і адаптивне придушення перешкод. Завдяки мережевій архітектурі NASAMS здійснює колективний обмін даними між пусковими та РЛС для перевірки достовірності сигналів.

ЗРК Iris-T SLM має багатофункціональний радар з швидкою здатністю до перенастроювання, адаптивною фільтрацією й алгоритмами розпізнавання імпульсних і локальних завад. Комплекс здатний змінювати параметри хвильової форми залежно від типу виявленої перешкоди.

Новітні дослідження спрямовані на впровадження когнітивних ECCM-алгоритмів – радар самостійно змінює частоту, потужність або форму імпульсу, орієнтуючись на зміну рівня завад у реальному часі. Використання методів глибинного навчання (Deep Reinforcement Learning) дозволяє системі оптимізувати тактику протидії активним перешкодам під час роботи.

Таким чином, сучасні ЗРК не покладаються на один метод, а використовують їхню сукупність. Наприклад, система з активною ФАР, що використовує моноімпульсний метод, широкосмугові сигнали з перебудовою частоти та працює в єдиній мережі, є надзвичайно завадостійкою. Саме такий комплексний підхід дозволяє ефективно протидіяти навіть найсучаснішим системам РЕБ.

Список використаних джерел:

1. Крючков Д. М., Рощупкін Є. С., Бондаренко С. В. та ін. Принципи побудови та бойового застосування зенітної ракетної системи С-300В1 : навч. посіб. Х. : ХНУПС, 2024. 301 с.

2. Пєвцов Г.В., Кульбіда П.Т.; Лупандін В.А. Основні тенденції розвитку радіоелектронної боротьби в сучасних операціях і бойових діях / Г.В. Пєвцов, П.Т. Кульбіда, В.А. Лупандін // Збірник матеріалів XV міжнародної наукової конференції ХНУПС ім. І. Кожедуба, 10-11.04.2019. – Харків: ХУПС, 2019. – С.449.

Геращенко Микита Романович *– курсант 342Б навчальної групи факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: vipernikitos3@gmail.com*

Овчаренко Олексій Юрійович *– викладач кафедри тактики зенітних ракетних військ факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: aleksey141177@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0003-3432-4874*

Mykyta Herashcenko *– cadet 342B of the training group of the Faculty of Anti-Aircraft Missile Forces, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: vipernikitos3@gmail.com*

Oleksii Ovcharenko *– lecturer at the Department of Air Defense Missile Forces Armament (medium-range missile systems) of the Faculty of Air Defense Missile Forces at the Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: aleksey141177@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0003-3432-4874*

УДК 621.39:623.1/.7

Двірник М. С., Титаренко Р. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ШЛЯХІВ ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ НАВЕДЕННЯ ЗЕНІТНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ

Анотація: *проаналізовано поточний стан радіоелектронної апаратури пускової установки 9А83, визначено ключові обмеження її функціонування та розроблено обґрунтовані пропозиції щодо технічного удосконалення та оптимізації процесів технічної експлуатації. Акцент зроблено на підвищенні надійності, скороченні часу обслуговування та збільшенні бойової ефективності пускової установки.*

Окрему увагу приділено питанням модернізації системи надлишкового тиску через заміну штатних компресорів на перероблені автомобільні аналоги, а також модернізації високочастотного тракту передавальної системи шляхом заміни застарілих високочастотних НВЧ-приладів (клістронів: КГ-І5, КУ-І55, КУ-335) на сучасні високочастотні напівпровідникові прилади вітчизняного виробництва.

Ключові слова: *радіоелектронна апаратура, пускова установка, наведення.*

Annotation: *the current state of the radio-electronic equipment of the 9A83 launcher has been analyzed, key operational limitations have been identified, and well-founded proposals for technical improvement and optimization of maintenance processes have been developed. The focus is placed on increasing reliability, reducing maintenance time, and enhancing the combat efficiency of the launcher.*

Special attention is given to the modernization of the overpressure system by replacing standard compressors with modified automotive analogs, as well as to the modernization of the high-frequency transmission path through the replacement of outdated microwave vacuum devices (klystrons: KG-15, KU-155, KU-335) with modern high-frequency semiconductor devices of domestic production.

Keywords: *radio-electronic equipment, launcher, guidance.*

З досвід застосування зенітного ракетного комплексу С-300В1 (далі – ЗРК) під час відсічі збройної агресії РФ було виявлено значну кількість відмов у його роботі, а саме штатних компресорів підкачки надлишкового тиску хвилевідного тракту передавальної системи ДП-20 станції підсвіту цілі радіоелектронної апаратури 9В749 виробу 9А83. Дослідження системи підкачки надлишкового тиску є першочерговим напрямком для підвищення надійності хвилевідного тракту.

Вихід з ладу компресорів призводить до порушення вимог щодо надлишкового тиску в хвилевідних трактах передавача, що є критичним для належного поширення НВЧ-енергії, і може спричинити вихід з ладу інших елементів через пробій.

Проведення аналізу характеристик штатних компресорів, які використовувалися в системі, показало низьку стійкість до польових умов застосування через обмежений ресурс експлуатації. Основною причиною виходу з ладу компресорів є перевантаження та недостатня надійність конструкції при тривалій роботі в запиленому або вологому середовищі. Вихід компресора з ладу призводить до втрати надлишкового тиску в хвилевідному тракті, внаслідок чого порушується необхідний режим поширення НВЧ-енергії. Це спричиняє локальне перегрівання, пробій і навіть плавлення стінок хвилеводу, що може викликати подальші відмови інших елементів передавача.

У межах дослідження була розглянута та випробувана альтернатива – використання автомобільних 12-вольтових компресорів. Перевірялась їхня здатність до швидкого нагнітання та автоматичного підтримання тиску після доопрацювання для живлення від мережі 220 В за допомогою додаткового блока живлення. Результати показали, що такий підхід є економічно доцільним і забезпечує оперативне відновлення працездатності системи в польових умовах, що підтверджує ефективність його впровадження.

Ключовим напрямком дослідження є модернізація високочастотного тракту шляхом аналізу роботи та заміни НВЧ-приладів у передавальній системі ДП-20. Існує загальна проблема

з частковим виходом з ладу високовольтних НВЧ-приладів, які мають обмежений ресурс роботи та чутливі до стрибків напруги, що знижує загальну надійність комплексу.

Проведене дослідження було сфокусоване на аналізі функціональних характеристик та причин відмов трьох ключових елементів системи, які традиційно є клістронами: задаючого НВЧ-приладу (КГ-І5), змішувально-перетворювального НВЧ-приладу (КУ-155) та кінцевого підсилювача потужності – КУ-335.

Напівпровідникові прилади мають значно більший ресурс роботи, менш чутливі до стрибків напруги, зменшують енергоспоживання та спрощують вимоги до систем охолодження та термостатування. Таким чином, модернізація високочастотного тракту через заміну НВЧ приладів є критично важливим заходом для підвищення бойової готовності комплексу 9А83.

Список використаних джерел:

1. Виріб 9А83 Технічний опис 9А83.00.00.000 ТО, Ред. 52–75.
2. Принципи побудови та бойового застосування зенітної ракетної системи С-300В1 : навч. посіб. / Д.М. Крючков, Є.С. Рощупкін, С.В. Бондаренко та ін. – Х. : ХНУПС, 2024. – 296 с.
3. Виріб 9В746 і 9В749 Короткий технічний опис БАО.130.000. ТО6.
4. Виріб 9В746 і 9В749 Інструкція по технічному обслуговуванні БАО.130.000.ИО.

Двірник Максим Сергійович *– курсант 342Б навчальної групи факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: mdvirnik5@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0003-0414-4175*

Титаренко Роман Володимирович *– викладач кафедри озброєння зенітних ракетних військ (зенітних ракетних комплексів середньої дальності) факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: rideek@outlook.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-7159-2934*

Maksym Dvirnyk *– cadet 342B of the training group of the Faculty of Anti-Aircraft Missile Forces, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: mdvirnik5@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0003-0414-4175*

Roman Tytarenko *– lecturer at the Department of Air Defense Missile Forces Armament (medium-range missile systems) of the Faculty of Air Defense Missile Forces at the Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: rideek@outlook.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-7159-2934*

УДК 621.39:623.1/7

Єрмоц М. С., Овчаренко О. Ю.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИЯВЛЕННЯ ТА СУПРОВОДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ З МАЛОЮ ЕФЕКТИВНОЮ ПОВЕРХНЕЮ РОЗСІЮВАННЯ БАГАТОКАНАЛЬНОЮ СТАНЦІЄЮ НАВЕДЕННЯ РАКЕТ 9С32

Анотація: *проаналізовано особливості функціонування багатоканальної станції наведення ракет 9С32 при роботі по повітряних цілях з малою ефективною поверхнею розсіювання (далі – ЕПР). Визначено ключові обмеження сучасного застосування станції (зокрема — низьке відношення сигнал/шум, вплив пасивних та активних завад, обмежені обчислювальні потужності) і запропоновано концептуальні підходи до модернізації її апаратних та алгоритмічних підсистем. Метою є підвищення якості виявлення, стійкості супроводу та загальної ефективності ураження малопомітних цілей. Окрему увагу приділено питанням впровадження нових методів фільтрації, адаптивних алгоритмів обробки та інтеграції сучасних обчислювальних засобів із існуючими цифровими підсистемами.*

Ключові слова: *малопомітні цілі, ефективна поверхня розсіювання, супроводження цілей, обробка сигналів.*

Annotation: *the operational features of the 9S32 multi-channel missile guidance station when dealing with air targets with a low radar cross-section (RCS) have been analyzed. The key limitations of the station's modern use (in particular, low signal-to-noise ratio, the impact of passive and active interference, and limited computing power) have been identified, and conceptual approaches to the modernization of its hardware and algorithmic subsystems have been proposed. The goal is to improve detection quality, tracking stability, and the overall effectiveness of engaging low-observable targets. Special attention is paid to the implementation of new filtering methods, adaptive processing algorithms, and the integration of modern computing facilities with existing digital subsystems.*

Keywords: *low-observable targets, low radar cross-section, target tracking, signal processing.*

Багатоканальна станція наведення ракет (далі – БСНР) 9С32 є ключовим інформаційним та вогневим компонентом зенітного ракетного комплексу С-300В1, що відповідає за автономний пошук, виявлення, супровід цілей та наведення на них ракет. Її проектні характеристики були оптимізовані для боротьби з аеродинамічними та балістичними цілями попередніх поколінь. Сучасні виклики, пов'язані з масовим застосуванням противником малопомітних засобів повітряного нападу (крилаті ракети, БПЛА, елементів високоточної зброї), що мають вкрай малу ЕПР, вимагають кардинального підвищення чутливості та стійкості станції. Ефективність усього комплексу в сучасних умовах напряму залежить від якості роботи 9С32 в умовах слабких відбитих сигналів.

БСНР 9С32 – це когерентно-імпульсна РЛС сантиметрового діапазону з фазованою антенною решіткою, що забезпечує огляд визначеного сектору та одночасний супровід до 12 і обстріл до 6 цілей. Станція використовує складні методи огляду та супроводу, включаючи моноімпульсний метод пеленгації та цифрову обробку сигналів. Однак її штатні цифрові обчислювальні підсистеми (далі – ЦОП) та методи обробки мають архітектурні обмеження, що не дозволяють ефективно реалізовувати складні алгоритми, необхідні для роботи по цілях з ЕПР на рівні 0,1 м² і нижче, особливо на тлі земної поверхні чи в умовах РЕБ.

Однією з головних проблем при роботі по малопомітних цілях є критично низьке відношення сигнал/шум. Слабкий відбитий сигнал легко губиться на тлі власних шумів приймального тракту та зовнішніх завад. Це призводить до нестабільного виявлення (пропусків відміток), частих зривів автосупроводження та, як наслідок, значних похибок вимірювання координат і параметрів руху цілі. Стандартні алгоритми накопичення та виявлення, розраховані на більш високий рівень сигналу, втрачають ефективність.

Існуючі алгоритми селекції рухомих цілей та захисту від пасивних завад (відбиття від землі, гідрометеорів) недостатньо ефективні для виділення слабкого корисного сигналу. Це

особливо критично при супроводі низьколітаючих об'єктів, таких як крилаті ракети, чи малих БПЛА. Відбиття від місцевих предметів можуть створювати хибні цілі або маскувати реальну, що призводить до нераціональної витрати обчислювального ресурсу станції та потенційного зриву бойової задачі.

У сучасних умовах бойового застосування виникає потреба у більш стійких алгоритмах супроводу, здатних працювати в умовах пропусків даних. Складність полягає у тому, що при втраті відмітки від цілі стандартні фільтри (як-от фільтр alpha-beta) швидко накопичують помилку, що ускладнює повторне захоплення цілі. Це знижує точність наведення ракет та вимагає від оператора ручного втручання, що є неприпустимим при відбитті масованого нальоту.

Для підвищення стійкості супроводу пропонується впровадження сучасних нелінійних та адаптивних алгоритмів фільтрації. Доцільною є заміна або доповнення існуючих алгоритмів розширеним фільтром Калмана (EKF) або фільтром (UKF), які здатні більш точно апроксимувати траєкторію цілі в умовах значних шумів та нелінійності вимірювань. Також перспективним є впровадження алгоритмів “track-before-detect” (супровід до виявлення), що дозволяють накопичувати слабкий сигнал вздовж прогнозованої траєкторії.

Ефективна реалізація складних алгоритмів потребує модернізації апаратної частини, насамперед ЦОП. Пропонується інтеграція сучасних обчислювальних модулів (на базі програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС/FPGA) або сигнальних процесорів (DSP) із збереженням існуючих інтерфейсів спряження. Це дозволить впровадити більш глибоку когерентну обробку, адаптивну зміну параметрів зондуючого сигналу та складні методи придушення завад у реальному часі без повної заміни всього комплексу.

Оцінювання ефективності запропонованих заходів доцільно проводити за такими узагальненими показниками: максимальна дальність виявлення цілі з еталонною ЕПР (наприклад 0.1 м² та 0.01 м²), коефіцієнт стійкості автосупроводження (відсоток зривів за певний час), середньоквадратична похибка вимірювання координат та швидкості цілі. Для перевірки доцільно проводити комплексне математичне моделювання та дослідно-пілотні випробування на полігонах з використанням імітаторів малопомітних цілей.

Першим етапом є глибокий аудит (моделювання) поточних алгоритмів обробки 9С32 для виявлення “вузьких місць” при роботі по слабких сигналах. Далі здійснюється розроблення та стендове тестування (лабораторне моделювання) нового програмного забезпечення та макетів апаратних блоків. Третій етап передбачає інтеграцію та тестування модернізованих алгоритмів на реальному комплексі в контрольованих полігонних умовах. Наступним кроком має стати поступове серійне оновлення ПЗ та, за потреби, апаратних блоків на бойових машинах.

Розробка та впровадження модернізованих апаратних та алгоритмічних засобів БСНР 9С32 дозволяє суттєво підвищити показники якості виявлення та супроводження повітряних цілей з малою ЕПР. Поєднання сучасних методів обробки сигналів, адаптивних нелінійних фільтрів та оновлених обчислювальних потужностей забезпечує більшу дальність виявлення, стійкість супроводу та точність наведення. Запропоновані концептуальні рішення дозволяють значно підвищити бойову ефективність комплексу С-300В1 проти сучасних та перспективних засобів повітряного нападу.

Список використаних джерел:

1. Виріб 9С32.Технічний опис.Частина 4 Приймальна система. БА1.640.007 ТО3. - п. 7 (С. 194-228).
2. Крючков Д. М. Принципи побудови та бойового застосування зенітної ракетної системи С-300В1: навч. посіб. / Д. М. Крючков, Є. С. Рощупкін, С. В. Бондаренко та ін.– Х. : ХНУПС, 2024. – п. 3.3.3.7
3. Виріб 9С32.Технічний опис.Частина 1 Загальні відомості. БА1.640.007 ТО – М.: МО, 1978. – 265 с.

Єрмоц Михайло Семенович *– курсант 342Б навчальної групи факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил*

імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: ispy1201@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0009-0008-3685-3706

***Овчаренко Олексій Юрійович** – викладач кафедри тактики зенітних ракетних військ факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: aleksey141177@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0003-3432-4874*

***Yermots Mykhailo** – cadet 342B of the training group of the Faculty of Anti-Aircraft Missile Forces, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: ispy1201@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0008-3685-3706*

***Ovcharenko Oleksii** – lecturer at the Department of Air Defense Missile Forces Armament (medium-range missile systems) of the Faculty of Air Defense Missile Forces at the Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: aleksey141177@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0003-3432-4874*

УДК 621.39:623.1/.7

Забийворота А. О., Крючков Д. М.

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ШЛЯХІВ ПРОТИДІЇ МАНЕВРУ ПОВІТРЯНОЇ ЦІЛІ ПРИ НАВЕДЕННІ ЗЕНІТНОЇ КЕРОВАНОЇ РАКЕТИ

Анотація: *проаналізовано принципи побудови та застосування зенітних керованих ракет (ЗКР) із напівактивним самонаведенням середньої дальності. Ефективність систем напівактивного самонаведення критично залежить від якості підсвічення цілі наземною РЛС, але підтверджений бойовим досвідом виявив їхню вразливість до сучасних засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ), а також складнощі при перехопленні цілей з інтенсивним маневруванням. Окрему увагу приділено питанням підвищення ефективності бортових обчислювальних пристроїв(ЦОП) ракети 9М83, удосконалення алгоритмів супроводу цілей які активно маневрують на будь-якій ділянці траєкторії польоту.*

Ключові слова: *зенітні керовані ракети, напівактивне самонаведення, маневруюча ціль,, адаптивні закони наведення, обчислювальні засоби.*

Abstract: *the principles of design and application of medium-range surface-to-air guided missiles (SAMs) with semi-active radar homing (SARH) have been analyzed. The effectiveness of SARH systems critically depends on the quality of target illumination by the ground-based radar; however, combat experience has revealed their vulnerability to modern electronic countermeasures (ECM) and difficulties in intercepting highly maneuverable targets. Special attention is given to improving the performance of the digital computing device (DCD) onboard the 9M83 missile and enhancing target-tracking algorithms for intensively maneuvering aerial targets.*

Keywords: *surface-to-air guided missiles, semi-active radar homing, SARH, maneuvering target, ECCM, sensor fusion, adaptive guidance laws, computational systems.*

ЗРК С-300В1 – мобільна система середньої дальності, що створювалася для прикриття наземних угруповань. Гусеничне шасі забезпечує високу прохідність і швидку зміну позицій, що важливо для живучості в сучасних умовах бойових дій. Комплекс призначений для ураження широкого спектра цілей – від авіаційних до оперативно-тактичних балістичних ракет [1]

Комплекс включає багатоканальну станцію наведення 9С32, до шести пускових установок двох типів 9А83/9А82, пуско-заряджальні установки 9А85, транспортно-пускові контейнери для ЗКР 9М83/9М82 та засоби технічного забезпечення. Багатоканальна станція наведення ракет 9С32 здатна одночасно супроводжувати до 12 цілей і обстрілювати до 6 цілей, має час безперервної роботи 24 год. Комплекс застосовує різні режими наведення (інерційне з радіокорекцією, командно-інерційний при перешкодах), і може вести роботу по балістичних цілях [2]

Однією з головних проблем залишається дефіцит ракет і обмежена кількість комплексів С-300В1 у складі підрозділів. Це створює необхідність у підвищенні ефективності використання наявних ресурсів. Оптимізація процесів прийняття рішень щодо застосування комплексу має ґрунтуватися на пріоритеті цілей, розрахунку ймовірності їх ураження та економному витрачанні боєзапасу.

Існуючі бортові обчислювальні засоби повинні мати канали обробки інформації відповідно до темпу оновлення алгоритмів та результатів аналізу інформації про рух цілі під час наведення. На цей час розвивається концепція «одна ракета-одна ціль», в тому числі під час дії перешкод на лінію передачі інформації між бойовими засобами.

У сучасних умовах бойового застосування виникає потреба у більш точному та стійкому виявленні маневру цілі. Складність полягає у тому, що під час перехідних режимів супроводу або за наявності шумів та похибок вимірювань алгоритми відстеження втрачають ефективність. Вдосконалення алгоритмів супроводу потребує розроблення комбінованих методів аналізу руху цілі з урахуванням кореляційних залежностей між параметрами та впровадження удосконалених способів наведення з можливістю адаптації в реальному часі

Пропонується реалізувати наступне.

У бортовій обчислювальній мережі зенітної керованої ракети реалізувати адаптивну версію пропорційної навігації (наприклад, augmented PPN або схему з прогнозуванням похибки), яка автоматично коригує коефіцієнти наведення в залежності від виявлених маневрів цілі та якості трекінгу. Наукові роботи показують, що такі підходи підвищують шанси захоплення при часозалежних маневрах [3]

Розширити апаратне/програмне забезпечення для всебічно-комплексного перетворення вхідної інформації про цілі і прогнозування траєкторії, інтегрувати обробку даних від кількох джерел (радар підсвічення, РЛС огляду, оптичні засоби) в єдину систему оцінки параметрів руху цілі з використанням розширених нелінійних фільтрів і моделей маневрів. Це зменшує залежність від єдиного сенсора та покращує прогноз. Наукові огляди мультисенсорної трекінгової обробки підкреслюють важливість такої інтеграції.

Оцінювання ефективності запропонованих заходів доцільно проводити за нижче наведеними узагальненими показниками.

Показники бойової ефективності, які в себе включають імовірність ураження цілі однією ракетою типових маневруючих цілей (зокрема, балістичних), середню витрату ракет на одну ціль.

Ключовим параметром є показники якості та стійкості супроводу, які в свою чергу включають точність оцінки координат цілі та стійкість супроводу при маневрі (частка успішних утримань цілі на супроводі під час виконання нею інтенсивного маневру (наприклад, 6g або більше), ефективність прогнозування – оцінка точності прогнозу траєкторії цілі на певний інтервал часу, час реакції на маневр – оцінка затримки між початком маневру цілі та автоматичним коригуванням коефіцієнтів навігації.

Обчислювальна затримка часу, необхідного бортовим обчислювальним пристроям (БОП) зенітної керованої ракети для виконання повного циклу обробки інформації та генерації команд наведення, повинна забезпечити в реальному часі роботу з більш складними алгоритмами обробки вхідної інформації з всіх наявних джерел.

Першим етапом є аудит поточного стану апаратного забезпечення БОП та визначення ключових вимог до його модернізації, включаючи необхідну обчислювальну потужність для роботи в реальному часі та вимоги до мінімізації обчислювальної затримки. Далі здійснюється розроблення й лабораторне тестування нових алгоритмів супроводу (мультисенсорна інтеграція, нелінійні фільтри) та адаптивних законів наведення (проводиться моделювання цих алгоритмів на новій апаратній базі для підтвердження зниження середньої витрати ракет та підвищення ймовірності ураження цілі) [4]. Третій етап передбачає проведення пілотних тренувань та стендових випробувань з обмеженим розгортанням нових алгоритмів, що включає перевірку стійкості супроводу при маневрі та часу реакції на маневр цілі з інтеграцією реальних даних від наявних сенсорів (радар, оптика). Завершальним етапом є постійний супровід – регулярне оновлення програмних алгоритмів та коефіцієнтів наведення у відповідь на появу нових типів цілей та тактик їхнього маневрування, забезпечуючи адаптивність системи протягом усього життєвого циклу.

Комплексна проблема вимагає комплексних рішень. Для коректної роботи оновленого БОП потрібно оновлювати засоби обміну інформації між бойовими засобами ЗРК 9К81 [5] для забезпечення стійкого, швидкого та точного обміну і передачі інформації на ЗКР 9М83. Як наслідок, це вимагає поєднання багаторівневої архітектури управління, модернізованих засобів зв’язку та вдосконалених алгоритмів супроводу, що забезпечує більшу гнучкість, надійність і стійкість системи. Запропоновані концептуальні рішення орієнтовані на використання відкритих технологій і можуть бути впроваджені поступово, з обов’язковим тестуванням у безпечних умовах.

Список використаних джерел:

1. Принципи побудови та бойового застосування зенітної ракетної системи С-300В1 : навч. посіб. / Д. М. Крючков, Є. С. Рощупкін, С. В. Бондаренко та ін.– Х. : ХНУПС, 2024. 301 с.

2. Побудова зенітного ракетного озброєння, контрольно-випробувального та технологічного обладнання ЗРК. Бортова апаратура зенітної ракети 9М83 . навч. посіб. / Сменшко І.П. Ісаков М.І., Лавровский Є.Є., Пивоваров О.Н. – Київ КВЗРІУ. 1987.- 80с.

3. https://ieeexplore.ieee.org/document/1027091
4. https://americaspg.com/articleinfo/3/show/1293
5. https://militaryembedded.com/radar-ew/signal-processing/achieving-technology-overmatch-with-system-on-module-embedded-architecture

Забийворота Артур Олександрович *– курсант 342Б навчальної групи факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: zabvartur@gmai.com ORCID* https://orcid.org/0009-0003-8863-2941

Крючков Дмитро Миколайович *– викладач кафедри озброєння зенітних ракетних військ (зенітних ракетних комплексів середньої дальності) факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: dnkriuchkov@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0002-4377-3156*

Artur Zabyivorota *– cadet 342B of the training group of the Faculty of Anti-Aircraft Missile Forces, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: zabvartur@gmai.com ORCID* https://orcid.org/0009-0003-8863-2941

Dmytro Kriuchkov *– senior lecturer of the Department of Air Defense Missile Forces Armament (medium-range missile systems) of the Faculty of Air Defense Missile Forces at the Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023,* e-mail: *dnkriuchkov@ukr.net* ORCID *https://orcid.org/0000-0002-4377-3156*

УДК 621.39:623.1/.7

Калач В. О., Луценко А. С.

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ НАВЕДЕННЯ РАКЕТ 9С32

Анотація: *проведено аналіз особливостей подання інформації в системі відображення інформації (індикації) багатоканальної станції наведення ракет (БСНР) 9С32, структури інформаційних потоків, типів відміток (положення цілі, ближня границя зони ураження, дальня границя зони ураження, упереджена точка зустрічі), принципів побудови системи відображення інформації, можливостей її удосконалення.*

Ключові слова: *багатоканальна станція наведення ракет 9С32, система відображення інформації (індикації), індикатори, положення цілі, ближня границя зони ураження, дальня границя зони ураження, упереджена точка зустрічі, зона ураження.*

Abstract: *an analysis of the features of information presentation in the information display (indication) system of the 9C32 multi-channel missile guidance station (BSNR), the structure of information flows, types of markings (target position, near boundary of the affected zone, far boundary of the affected zone, biased meeting point), principles of building an information display system, possibilities of its improvement.*

Keywords: *multi-channel missile guidance station 9C32, information display system (indications), indicators, target position, near border of the affected zone, far border of the affected zone, biased meeting point, affected zone.*

Сучасні бойові дії характеризуються високою динамічністю, великою кількістю інформаційних потоків та необхідністю прийняття рішень у мінімальний час. За таких умов ефективність функціонування бойових розрахунків зенітного ракетного озброєння значною мірою визначається тим, наскільки швидко та правильно оператори здатні приймати, рішення й використовувати отриману інформацію.

Ефективність бойової роботи БСНР 9С32 залежить від того, як організована подача інформації на індикатори бойової обслуги. Оптимізація принципів візуалізації сприяє швидшому прийняттю рішень, знижує навантаження на оператора та мінімізує кількість помилок при веденні бойової роботи. Зв’язок між діями шарового регулятора і реакцією на екрані має бути максимально прямим, щоб забезпечити інтуїтивне управління.

Важливим є спрощення кількості режимів растрів або створення чітких, стандартизованих правил переходів між ними. Перехід із режиму 7×9 до 3×3 має бути логічно обґрунтованим. Постійне відображення індикації зон пошуку (1–4) з вказанням номінальної дальності або кута спостереження підвищує орієнтованість оператора у просторі. Додаткова лінія горизонту мінімальної висоти дозволяє своєчасно реагувати на низьколетючі цілі (НЛЦ).

Растри центрального сектора (зона 2) і ближньої зони (зона 1) повинні забезпечувати відображення координат, відносного кута і відстані до межі зони ураження. Первинна точка траси цілі має бути візуально зв’язана з іншими позначками, такими як умовна точка зустрічі (УТЗ), ближня границя (БГ) і дальня границя (ДГ), що формує повне уявлення про траєкторію польоту та дозволяє оператору оцінювати динаміку руху цілі.

Маркер повітряної цілі (ПЦ), який позначає основну відмітку цілі, рекомендується відображати у вигляді світлової точки або символу ціль. Поруч доцільно виводити номер цілі (Nц) і ознаку групової цілі (пр. Г), якщо така є. Маркер ближньої границі (БГ) визначає найменшу відстань, на якій пуск ракети є ефективним і безпечним. Разом із маркером дальньої границі (ДГ) вони утворюють інтервал зони ураження, який дає оператору уявлення про момент входу цілі в допустимий коридор для стрільби.

УТЗ є ключовим елементом для планування пуску. Вона показує, куди повинна бути спрямована ракета і коли її слід запустити, щоб траєкторія польоту збіглася з траєкторією цілі. На індикаторі командира УТЗ поєднується лініями з ПЦ і з позначкою ракети, формуючи

просторове уявлення про процес перехоплення. Якщо УТЗ розташована за межами зони ураження, пуск буде неефективним.

Шаровий регулятор виступає основним органом управління для супровода цілей. Легкий рух кульки забезпечує переміщення курсора у режимі 7×9 коротке натискання фіксує вибір і викликає перехід у 3×3.

У фокусному режимі маркери мають відображати ключові параметри відстань, вектор руху та індекс довіри джерела. При великій кількості позначок на екрані застосовується кластеризація замість десятка маркерів виводиться один символ із числом об'єктів, який розгортається при виборі. Якщо інформація про ціль тимчасово недоступна, система повинна відображати її останнє відоме положення з маркуванням «недостовірно».

Підвищення обізнаності бойових обслуг досягається поєднанням пріоритезації відображення, уніфікованої симвології, контекстних цифрових даних і візуальної індикації довіри джерел.

В доповіді проаналізовано проблемні питання експлуатації системи відображення інформації (індикації) БСНР 9С32, які виникають під час ведення бойової роботи зенітним ракетним комплексом С-300В1, проведено аналіз можливостей щодо її удосконалення.

Список використаних джерел:

1. Виріб 9С32.Технічний опис. Частина 7 Синхронізатор. Слідкуючі координатні системи. Індикатори. Система керування та сигналізації. БА1.640.007 ТО6.
2. Принципи побудови та бойового застосування зенітної ракетної системи С-300В1 : навч. посіб. / Д.М. Крючков, Є.С. Рощупкін, С.В. Бондаренко та ін. – Х. : ХНУПС, 2024. – 296 с.
3. Виріб 9С32.Технічний опис. Частина 1 Загальні відомості. БА1.640.007 ТО.

Калач Вячеслав Олександрович *– курсант 342Б навчальної групи факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: slava15523@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0007-4232-2277*

Луценко Антон Сергійович *– викладач кафедри озброєння зенітних ракетних військ (зенітних ракетних комплексів середньої дальності) факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: rideek@outlook.com ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-7242-625X*

Vyacheslav Kalach *– cadet 342B of the training group of the Faculty of Anti-Aircraft Missile Forces, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: slava15523@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0007-4232-2277*

Anton Lutsenko *– lecturer at the Department of Air Defense Missile Forces Armament (medium-range missile systems) of the Faculty of Air Defense Missile Forces at the Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: rideek@outlook.com ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-7242-625X*

УДК 623.418:623.462.2]:355.4

Камчатний М. І., Коробков Ю. В., Шимко А. С.

ЗАХИСТ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО РАДІОЛОКАТОРА ВІД ПРОТИРАДІОЛОКАЦІЙНИХ РАКЕТ ЗА РАХУНОК ВВЕДЕННЯ РЕЖИМУ АДАПТИВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЗОНДУВАЛЬНОГО СИГНАЛУ ЗАЛЕЖНО ВІД ДАЛЬНОСТІ ДО ЦІЛІ, ЩО СУПРОВОДЖУЄТЬСЯ

Анотація: *аналізуються сучасні методи регулювання параметрів зондувального сигналу РЛС безперервного випромінювання ЗРК, пропонуються способи автоматичного регулювання інтенсивності зондувального сигналу в залежності від дальності до супроводжуваної цілі для підвищення енергетичної незамінності роботи РЛС та розширення динамічного діапазону його приймального пристрою.*

Ключові слова: *багатофункціональний радіолокатор, передавальний пристрій, зондувальний сигнал, приймальний пристрій, динамічний діапазон, ЗРК, адаптивне регулювання.*

Abstract: *Modern methods of regulating the parameters of the radar probing signal of continuous-wave air defense missile systems are analyzed, and methods for automatic adjustment of the probing signal intensity depending on the distance to the tracked target are proposed to improve the energy efficiency of the radar operation and to expand the dynamic range of its receiving.*

Keywords: *multifunctional radar, transmitting device, probing signal, receiving device, dynamic range, SAM, adaptive adjustment.*

До складу всіх типів сучасних зенітних ракетних комплексів входять радіолокатори розвідки, виявлення, цілеуказування, наведення зенітних керованих ракет (ЗКР), підсвічування цілі, тощо. Як правило, вони мають потужне випромінювання, що демаскує їх, а наявність відкритих антенних систем та приймально – передавальних постів, не закритих спеціальним укриттям, робить їх уразливими до засобів ураження, які самонаводяться на випромінювання, наприклад протирадіолокаційних ракет.

Актуальним є питання підвищення енергетичної незамінності роботи радіолокатора за рахунок керування рівнем випромінювання залежно від дальності до цілі, що супроводжується.

Пропонується спосіб автоматичного керування рівнем потужності зондувального сигналу багатофункціонального радіолокатора ЗРК залежно від дальності до супроводжуваної цілі з метою підвищення енергетичної незамінності роботи радіолокатора, розширення динамічного діапазону його приймального пристрою.

Потужність сигналу, відбитого від цілі, залежить в загальному випадку від її ефективної відбиваючої поверхні (ЕПР) та дальності до цілі. По мірі наближення цілі до радіолокатора потужність відбитого сигналу зростає і, починаючи з деякої дальності, перевищує потрібне для надійного супроводу цілі значення. Це призводить до нераціонального використання потенціалу РЛС. Таким чином, доцільно було би забезпечувати тільки потрібний рівень відбитого від цілі сигналу, а при збільшенні зверх потрібного добиватися його зниження до потрібного рівня за рахунок зменшення потужності сигналу передавача. Зазначена процедура може бути реалізована шляхом контролю рівня сигналу, відбитого від цілі, або на вході приймача радіолокатора так і на його виході. І при перевищенні рівня відбитого від цілі сигналу порогового значення отримане перевищення може бути використано в якості керуючої напруги для регулювання рівня потужності сигналу передавача. При чому ця операція має виконуватися по кожній цілі, що супроводжується радіолокатором.

Автоматичне захоплення цілі на супровід в багатоканальному радіолокаторі здійснюється при перевищення співвідношення сигнал/шум на виході приймача супроводу цілі порогу автосупроводу (порогу АС). Перевищення зазначеного порогу забезпечується на відповідних дальностях до цілі в залежності від типу цілі. При наближенні цілі на меншу відстань співвідношення сигнал/шум на виході приймача буде значно перевищувати потрібне

значення. Підтримування вказаного співвідношення на потрібному рівні може бути здійснено шляхом зниження потужності зондувального сигналу.

Пропонується схема пристрою контролю рівня прийнятого сигналу на вході приймача та схема регулювання потужності випромінюваного сигналу залежно від виміряного рівня. При цьому утворюється замкнута система автоматичного регулювання потужності сигналу передавача залежно від інтенсивності прийнятого сигналу, відбитого від цілі, що супроводжується РЛС. А так як інтенсивність сигналу відбитого від цілі залежить від дальності до цілі, то тим самим здійснювалося поступове автоматичне регулювання потужності сигналу передавача в залежності від дальності до супроводжуваної цілі. Даний спосіб регулювання потужності сигналу передавача багатофункціонального радіолокатора є досить простим. Але його недоліком є те, що сигнал на вході приймача може перевищити заданий поріг не тільки за рахунок зростання рівня сигналу відбитого від цілі, але також за рахунок впливу активної перешкоди. Це обмежує можливість супроводження цілі РЛС в умовах застосування ціллю активних перешкод.

Зазначений недолік усувається при контролі рівня відбитого від цілі сигналу на виході його приймального пристрою. Дійсно, в процесі обробки прийнятого сигналу в приймачі РЛС здійснюється, як правило, компенсація активних перешкод за допомогою автокомпенсатора перешкод (АКП) та подавлення пасивних перешкод і відбитих від місцевих предметів сигналів за допомогою режекторних фільтрів. Тому на рівень сигналу на виході приймача завади практично не впливають. Разом з тим, у більшості приймальних пристроїв РЛС підтримується практично постійний рівень сигналу на їх виході за допомогою схеми автоматичного регулювання підсилення (АРП), яка і забезпечує потрібний динамічний діапазон. Тому безпосередньо сигнал з виходу приймального пристрою РЛС не несе інформації про рівень сигналу, відбитого від цілі, що супроводжується. Така інформація є у рівні напруги АРП, яка при збільшення рівня вхідного сигналу пропорційно зростає за модулем (напруга АРП є від'ємною). Ця напруга використовується в радіолокаторі для визначення можливості переведення його в режим автоматичного супроводу цілі (режим АС) шляхом порівняння її з пороговою напругою (порогом АС). Таким чином, другим способом регулювання потужності зондувального сигналу в залежності від дальності до супроводжуваної радіолокатором цілі може бути спосіб, в якому рівень прийнятого сигналу оцінюється по величині напруги схеми автоматичного регулювання підсилення і при перевищенні напруги АРП порогового значення (порогу АС), потрібного для захвату цілі на АС та надійного автосупроводу і формується сигнал керування потужністю передавача. При цьому також утвориться замкнута слідкувальна система, яка буде автоматично відслідковувати рівень зондувального сигналу, підтримуючи при цьому постійне значення напруги АРП приймача радіолокатора, рівне порогу АС.

Список використаних джерел.

1. "Fundamentals of Radar Signal Processing" Mark A. Richards, Ph.D. Georgia Institute of Technology 2014.-894c.

2."Основи побудови радіолокаційних засобів розвідки повітряного простору" / Київ 2023. 212 с. / К.С Васюта , О.В., Тесленко , В.М. Куприй , О.А. Малишев.

3. "Аналіз протирадіолокаційних ракет збройних сил російської федерації та їх оцінювання як цілей для зенітних підрозділів" / Харків : ХНУПС. О.В. Корсунов, Ю.О. Лезік, М.І. Галкін, М.В. Литвиненко.

4. "Збройна боротьба у повітрі і космосі" / за ред. М. О. Єрмошина. Харків : ХНУПС. 2019. 492 с.

5. " Бойове застосування високоточних засобів ураження і особливості боротьби з ними" : навч. посіб. / Харків : ХУПС, 2016. 272 с. / В. І. Ткаченко, С. П. Ярош, Є. Б. Смірнов та ін.; за ред. В. І. Ткаченка.

6. Ткачук В. М. "Радіопередавальні пристрої ": навч. посібник. / В. М. Ткачук, С. М. Цирульник, Т. А. Петренко. – Вінниця : Т. П. Барановська, 2015. – 188 с.

7. Сухаревський О. І., Василець В. О., Нечитайло С. В. "Довідник характеристик розсіювання повітряних та наземних радіолокаційних об'єктів". Харків : ХНУПС, 2019. 304 с.

8. “Теорія радіолокаційних систем (видання друге)” : підручник / Б.Ф. Бондаренко, В.В. Вишнівський, В.П. Долгушин та інші; за заг.ред. С.В. Лєнкова. – “Київський університет”, 2011.- 383с.

9. “Основи теорії радіотехнічних систем”: навч. посібник. – Львів: Львівська політехніка, 2005. -240 с.

Камчатний Микола Іванови *– кандидат технічних наук, доцент, кафедри факультету, Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна, e- mail : mikolakamcatnij@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1111-6813*

Коробков Юрій Вікторович *– старший викладач кафедри факультету, Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. Харків, Україна, e - mail : juriykor777@ gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-4487-4714*

Шимко Анастасія Сергіївна – *слухач штатний навчального курсу факультету, Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. Харків, Україна, e - mail : shymko.anastasia08@gmail.com, https://orcid.org/0009-0003-0182-5936*

Kamchatny Mykola Ivanovych *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University. Kharkiv, Ukraine, e - mail: mikolakamcatnij@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1111-6813*

Korobkov Yurii Viktorovich *– Senior teacher of the department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, e - mail : juriykor777@ gmail.com https://orcid.org/0000-0003-4487-4714*

Shymko Anastasiia Sergeevna – *a full-time student of the training course department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University. Kharkiv, Ukraine, e - mail: shymko.anastasia08@gmail.com , https://orcid.org/0009-0003-0182-5936*

УДК 621.39:623.1/.7

Монахов Є. О., Луценко А. С.

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АНТЕНОЮ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ НАВЕДЕННЯ РАКЕТ 9С32 ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БОЙОВИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗЕНІТНОЇ РАКЕТНОЇ БАТАРЕЇ

Анотація: *проведено аналіз важливого елементу багатоканальної станції наведення ракет 9С32 – системи управління антеною, можливостей щодо її удосконалення. Розглянуто вплив швидкості переведення фазованої антенної решітки (ФАР) за азимутом та кутом місця, на швидкість реакції зенітного ракетного комплексу (ЗРК) С-300В1, можливостей обстрілу та супроводу цілей.*

Ключові слова: *система керування антеною, багатоканальна станція наведення ракет 9С32, ЗРК С-300В1, фазована антенна решітка, швидкість реакції.*

Abstract: *an analysis of an important element of the 9C32 – multi-channel missile guidance station of the antenna control system, opportunities for its improvement was carried out. The influence of the speed of transfer of the phased antenna array (FAR) by azimuth and elevation angle on the speed of reaction of the S-300B1 anti-aircraft missile system (SAM), the possibilities of firing and tracking targets is considered.*

Keywords: *antenna control system, 9C32 multi-channel missile guidance station, S-300B1 air defense system, phased antenna array, reaction speed.*

Система керування антеною багатоканальної станції наведення ракет (БСНР) 9С32 призначена для керування положенням антени блоку Д50 по азимуту та куту місця, є критично важливим елементом, характеристики якого безпосередньо впливають на бойові можливості ЗРК С-300В1.

У виробі 9С32 розгортання блоку Д50 в бойове положення, а також переміщення ФАР по азимуту та куту місця проводиться за допомогою двох слідкуючих систем. При бойовій роботі виробу 9С32 переміщення ФАР в сектор відповідальності по азимуту здійснюється:

– за даними цілевказівок, які приймаються по радіолінії з КП;

– в режимі автономної роботи оператором станції за допомогою штурвалів ручного керування.

Швидкість, з якою система керування антеною може переводити ФАР, прямо впливає на швидкість реакції комплексу на зміну бойової обстановки:

– азимут (до 10°/сек): Визначає швидкість переведення зони відповідальності в горизонтальній площині. Чим вища швидкість, тим швидше можна захопити нову ціль після завершення роботи по попередній, що підвищує темп стрільби і можливість одночасного супроводження більшої кількості цілей;

– кут місця (до 1°/сек): Впливає на швидкість переведення зони огляду по висоті, що важливо при роботі по цілях з різною балістичною траєкторією (наприклад, балістичні та аеродинамічні цілі).

Висока точність, яку забезпечує система керування антеною (наприклад, 2 кутові одиниці поділу кутоміру по азимуту та куту місця), є основою для точного наведення променя ФАР БСНР 9С32 на ціль. Це, у свою чергу, забезпечує:

– високу ймовірність виявлення та супроводження повітряної цілі;

– точну передачу команд управління та корекції траєкторії ракети.

Однією з головних проблем, виявлених за досвідом бойових дій, полягає у часовій затримці, при необхідності перенесення вогню на інший, значно віддалений за азимутом сектор. Наприклад, при раптовій появі пріоритетної цілі (як приклад, балістичної ракети) з напрямку, протилежного поточному сектору огляду, система керування антеною має механічно розвернути важку ФАР на 180°. Цей процес займає критичні секунди, протягом яких станція не зможе ефективно реагувати на нові загрози.

В доповіді проаналізовано проблемні питання експлуатації системи керування антеною які виникають під час ведення бойової роботи БСНР 9С32 ЗРК С-300В1, проведений аналіз можливостей щодо її удосконалення.

Список використаних джерел:

1. Виріб 9С32.Технічний опис. Частина 1 Загальні відомості. БА1.640.007 ТО.
2. Принципи побудови та бойового застосування зенітної ракетної системи С-300В1 : навч. посіб. / Д.М. Крючков, Є.С. Рощупкін, С.В. Бондаренко та ін. – Х. : ХНУПС, 2024. – 296 с.
3. Виріб 9С32.Технічний опис. Частина 8 Система керування антенами компенсаторів, система керування антеною, функціональний контроль станції БА1.640.007 ТО7.

Монахов Єгор Олегович *– курсант 342Б навчальної групи факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: egormonahov4544@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0004-2039-9431*

Луценко Антон Сергійович *– викладач кафедри озброєння зенітних ракетних військ (зенітних ракетних комплексів середньої дальності) факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: rideek@outlook.com ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-7242-625X*

Egor Monahov *– cadet 342B of the training group of the Faculty of Anti-Aircraft Missile Forces, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: egormonahov4544@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0004-2039-9431*

Anton Lutsenko *– lecturer at the Department of Air Defense Missile Forces Armament (medium-range missile systems) of the Faculty of Air Defense Missile Forces at the Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: rideek@outlook.com ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-7242-625X*

УДК 621.39:623.1/.7

Панков Д. О., Рощупкін Є. С.

ОБҐРУНТУВАННЯ ПЕРЕЛІКУ АПАРАТУРИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ НАВЕДЕННЯ РАКЕТ 9С32

Анотація: *проаналізовано призначення та основні принципи побудови функціонального контролю (ФК) багатоканальної станції наведення ракет 9С32, який є самостійним режимом роботи і проводиться начальником станції з Пульта ФК. Визначено повний склад апаратури ФК, включаючи вбудовані засоби контролю та спеціально розроблені прилади Пульт ФК (Д01-2М) і Переносний прилад пошуку несправностей (Д01-3М). Обґрунтовано використання двох підрежимів ФКА (для загальної перевірки працездатності систем з точністю до системи) та ФКП (для детальної діагностики, налаштування та спеціальних вимірювань). Окрему увагу приділено засобам контролю, включаючи контрольні сигнали (КС), що забезпечують перевірку взаємодії систем у динаміці.*

Ключові слова: *функціональний контроль, багатоканальна станція наведення ракет, ЗРК С-300В1, коефіцієнт шуму, апаратура, діагностика.*

Abstract: *the purpose and main principles of constructing the Functional Control (FC) system of the 9S32 multi-channel missile guidance station are analyzed. The FC operates as an independent mode and is conducted by the station chief from the* ***FC Console****. The complete composition of the FC equipment is defined, including built-in control tools and specially developed devices: the FC Console (D01-2M) and the Portable Fault Location Device (D01-3M). The use of two sub-modes is justified: FCA (Functional Control Automatic) (for general system operability checks with system-level accuracy) and FCP (Functional Control Semi-automatic/Probing) (for detailed diagnostics, alignment, and special measurements). Particular attention is paid to the control means, including Control Signals (CS), which ensure the checking of system interaction in a dynamic environment.*

Keywords*: Functional control, multichannel missile guidance station, S-300V1 air defense missile system, noise factor, equipment, diagnostics.*

Функціональний контроль (ФК) виробу 9С32 призначений для перевірки працездатності апаратури систем станції та швидкого пошуку несправності у разі відмови. До складу апаратури ФК входять: апаратура контролю, вбудована у системи станції (що формує сигнали справності), та спеціально розроблена апаратура для цілей контролю.

Пульт функціонального контролю (ПФК, блок Д01-2М) є командним центром, з якого задається режим ФК, обираються підрежими (ФКА/ФКП) та видаються команди на контроль окремих систем. Також ПФК відображає результати контролю на електролюмінісцентних табло.

Переносний прилад пошуку несправностей (ППФН, блок Д01-3М) є незамінним для відшукання несправностей у підрежимі ФКП, оскільки ФКА забезпечує точність лише до системи, а подальша локалізація вимагає роботи з ППФН для діагностики конкретних блоків.

"ФКА" (функціональний контроль автоматичний) призначений для загального контролю працездатності широкого переліку систем (СЦОМ-2, СУП, ППО, ПАК, СКС, приймальні пристрої) за фіксованим алгоритмом (наприклад, УПО перевіряється імітацією 12 контрольних цілей, ПАК — еталонною напругою). Часова діаграма програми ФКА оптимізована для швидкої перевірки (близько 15 секунд), забезпечуючи виявлення несправності з точністю до системи.

"ФКП" (функціональний контроль напівавтоматичний) призначений для деталізованого пошуку несправностей (у разі відмови, виявленої ФКА), а також для налаштування та періодичної перевірки окремих систем. ФКП дозволяє проводити перевірки багаторазово.

Підрежим ФКП є критично важливим для точної діагностики та налаштування, завдяки використанню спеціальних контрольних сигналів (КС) та можливості поглиблених вимірювань:

Наскрізний динамічний контроль: Контрольний сигнал $КС_{дц}$ ("Рухома ціль"), що імітує сигнал, відбитий від реальної цілі (інформація про дальність, швидкість, кутове положення), дозволяє провести наскрізну перевірку та оцінити взаємодію систем у динаміці (приймальні пристрої, СКС, ППО, ПАК).

У режимі ФКП проводяться вимірювання, що вимагають участі оператора та налаштування:

- вимірювання коефіцієнта шуму (Кш) приймальних пристроїв за допомогою вбудованого генератора шуму;
- перевірка динамічного діапазону (ДД) приймальної системи за командою "ДД" з використанням спеціально сформованого сигналу КСдд;
- контроль і встановлення порогових множників, а також перевірка систем керування антенами (СУА/СУКА) шляхом відпрацювання контрольних кутів;
- вирівнювання каналів: Для контролю приймальних пристроїв використовуються сигнали: КС1а (для підтримки коефіцієнта посилення приймача), КСвч та КСпч (для вирівнювання коефіцієнтів посилення каналів на високій та проміжній частоті відповідно).

Список використаних джерел:

1. Принципи побудови та бойового застосування зенітної ракетної системи С-300В1 : навч. посіб. / Д.М. Крючков, Є.С. Рощупкін, С.В. Бондаренко та ін. – Х. : ХНУПС, 2024. – 296 с.;
2. ВИРІБ 9С32 ТЕХНІЧНИЙ ОПИС БАІ.640.007 ТО7 / сс ЧАСТИНА 8 СУАК, СУА, ФК станції.

Панков Даніїл Олегович *– курсант 342Б навчальної групи факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail:* chelovektwt@gmail.com *ORCID* https://orcid.org/0009-0000-3103-4279

Рощупкін Євген Сергійович *– доцент кафедри озброєння зенітних ракетних військ (зенітних ракетних комплексів середньої дальності) факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail:* reszzz76@gmail.com *ORCID https://orcid.org/0000-0003-1089-9681*

Daniil Pankov *– cadet 342B of the training group of the Faculty of Anti-Aircraft Missile Forces, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail:* chelovektwt@gmail.com *ORCID* https://orcid.org/0009-0000-3103-4279

Evgeniy Roshchupkin *– Associate Professor of the Department of Air Defense Missile Forces Armament (medium-range missile systems) of the Faculty of Air Defense Missile Forces at the Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail:* reszzz76@gmail.com *ORCID* https://orcid.org/0000-0003-1089-9681

УДК 623.4.011::623.762./.764

Резніченко О. А.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БОЙОВИХ ДІЙ ТАКТИКО-ВОГНЕВОГО ПІДРОЗДІЛУ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК У ХОДІ ВОЄННОГО КОНФЛІКТУ ВИСОКОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ

Анотація: *в доповіді, за результатами аналізу досвіду російсько-української війни, запропонована удосконалена методика оцінювання ефективності бойових дій тактико-вогневих підрозділів зенітних ракетних військ, як складова частина методу оцінювання ефективності бойових дій зенітної ракетної бригади змішаного складу у ході воєнного конфлікту високої інтенсивності.*

Ключові слова: *воєнний конфлікт високої інтенсивності, оцінка ефективності, показник ефективності, раціональність, тактико-вогневий підрозділ.*

Abstract: *based on the Russian-Ukrainian war experience analysis, an improved methodology for assessing the tactical fire units combat operations effectiveness of anti-aircraft missile forces as an integral part of the method for assessing the mixed anti-aircraft missile brigade combat operations effectiveness during a high-intensity military conflict is proposed.*

Keywords: *high-intensity military conflict, effectiveness assessment, effectiveness indicator, rationality, tactical-fire unit.*

За результатами попередніх досліджень обґрунтовано, що за кількістю сил (військ), які тривалий час застосовуються на оперативному та стратегічному рівнях збройного протиборства з явним або прихованим залученням збройних сил, озброєння (технологій) та розвідувальних можливостей союзних протиборчим сторонам держав, російсько-українська війна після відкритого вторгнення Російської Федерації на територію України 24 лютого 2022 року набула усі ознаки воєнного конфлікту (ВК) високої інтенсивності (ВІ). У зв'язку з наведеним, було запропоновано метод оцінювання ефективності військових частин і тактико-вогневих підрозділів (*твп*) зенітних ракетних військ (ЗРВ) в умовах ВК ВІ для його відповідності сучасним реаліям ведення бойових дій (БД), який враховує, що:

– з початком агресії змінилась структура зенітного ракетного прикриття за рахунок надходження комплексів іноземного виробництва, специфіка управляння якими, алгоритми бойової роботи та ефективність яких потребують урахування для отримання адекватних результатів;

– відбувається перехід військових частин ЗРВ до організаційно-штатних структур змішаного складу;

– отримали зміни питання організації управління, забезпечення та взаємодії, що в деяких випадках призвело до емерджентного ефекту.

Спрощено основні складові методу оцінювання ефективності бойових дій зенітної ракетної бригади (*зрбр*) в ВК ВІ, які наведено на рис. 1.

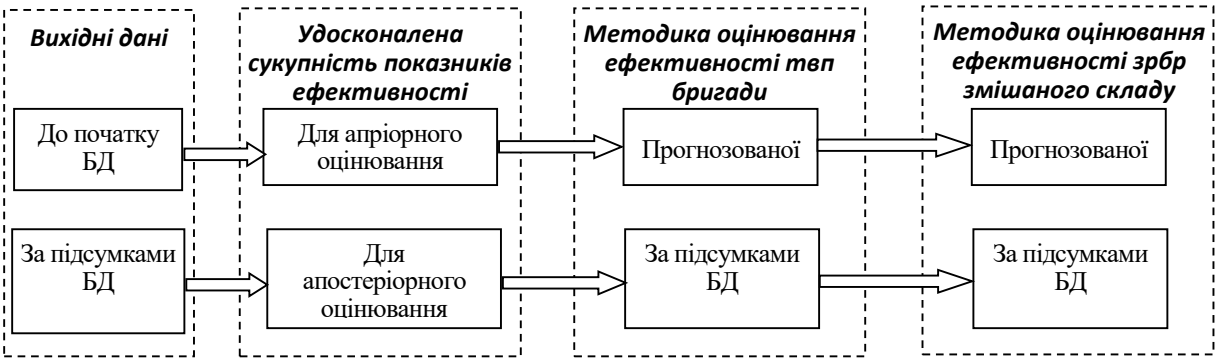


Рисунок 1 – Складові методу оцінювання ефективності БД *зрбр* змішаного складу в ході ВК ВІ.

Метод передбачає апріорне (до початку ведення БД) та апостеріорне (по результатах ведення БД) оцінювання ефективності *зрбр* та включає в себе:

– сукупність вихідних даних, що використовуються при оцінюванні;

– удосконалену сукупність показників, за якими здійснюється оцінювання;

– методики оцінювання ефективності:

а) окремих *твп*, що входять до складу *зрбр*;

б) безпосередньо самої *зрбр* змішаного складу.

Запропонована методика оцінювання *твп*, на відміну від існуючих, формалізована, та дозволяє при її застосуванні отримати адекватний результат у рамках таких обмежень і припущень:

– оцінювання ведеться за умови застосування противником лише конвенційних засобів збройної боротьби;

– застосовується для умов ВК ВІ;

– кількість зенітних керованих ракет (ЗКР) обмежена;

– при визначенні ефективності *твп* не береться до уваги, яке завдання вирішується в ході протиповітряного бою (самоприкриття чи прикриття об'єкту), суттєвим є лише кількість знищених цілей.

Удосконалена методика оцінювання ефективності *твп* ЗРВ розроблена для двох варіантів застосування (апріорне та апостеріорне оцінювання ефективності), тому в ній для кожного з наведених варіантів застосовуються різні показники для оцінювання ефективності *твп* ЗРВ.

При оцінюванні ефективності БД *твп* до їх початку в ході ВК ВІ використовуються показники, значення яких отримують за результатами імітаційно-статистичного моделювання.

Разом з тим, обґрунтовано, що при значній тривалості та інтенсивності ВК особливу важливість набуває раціональність використання (РВ) боєкомплекту (БК) *твп* ЗРВ. Наведено, що показник РВ БК *твп* може бути обчислений як відношення суми балів, нарахованих підрозділу за кожну знищену ціль певного типу з урахуванням раціональності витрати на її знищення відповідних типів ЗКР, до суми знищених цілей всіх типів. Основна ідея впровадженого показника РВ БК *твп* ЗРВ при оцінюванні його ефективності у ході ВК ВІ полягає в забезпеченні цільового використання ЗКР відповідно до їх тактико-технічних характеристик і, в підсумку, – максимізації значення відношення ефективність/вартість у ході здійснення прикриття об'єктів та угруповань військ. Цей показник може бути визначений для *твп*, які використовують декілька типів ракет (пускових установок з ракетами різного типу) в ході відбиття удару повітряного противника.

Висновки.

Розроблена методика дозволяє проводити оцінювання ефективності бойових дій тактико-вогневих підрозділів зенітних ракетних військ як на етапі планування бойових дій, так і після їх завершення, при цьому для кожного з варіантів використовуються різні показники ефективності тактико-вогневих підрозділів.

Для врахування особливостей ВК ВІ до складу сукупності показників ефективності бойового застосування тактико-вогневих підрозділів, які дозволяють оцінювати ефективність після завершення бойових дій, введений показник РВ БК *твп*. Введення та використання даного показника дозволяє забезпечити цільове використання ЗКР у відповідності з їх тактико-технічними характеристиками і, в підсумку, – максимізувати значення відношення ефективність/вартість у ході здійснення прикриття об'єктів та угруповань військ.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку методики оцінювання ефективності бойових дій *зрбр* змішаного складу у ході ВК ВІ.

Резніченко Олександр Анатолійович *– начальник факультету Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, e-mail: arroww2015@meta.ua, https://orcid.org/0000-0002-3773-2710*

Oleksandr Reznichenko *– Chief of faculty of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: arroww2015@meta.ua, https://orcid.org/0000-0002-3773-2710*

УДК 621.39:623.1/7

Романов А. П., Титаренко Р. В.

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ КАНАЛІВ ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЄЮ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ ЇХ СПРЯЖЕННЯ З ЗЕНІТНИМ РАКЕТНИМ КОМПЛЕКСОМ С-300В1

Анотація: *проаналізовано особливості конструкції та функціонування ЗРК С-300В1, визначено ключові обмеження сучасного застосування комплексу (зокрема — обмеженість боєзапасу та недоліки засобів зв'язку) і запропоновано концептуальні підходи до забезпечення централізованого управління автоматизованими засобами комплексу з метою підвищення оперативної ефективності, стійкості й взаємодії з вищими системами ППО. Окрему увагу приділено питанням підвищення перешкодостійкості зв'язку, спряження сучасних каналів із існуючими цифровими обчислювальними підсистемами (ЦОП), алгоритмічних удосконалень супроводу цілей та організаційним процедурам впровадження.*

Ключові слова: *централізоване управління, автоматизація, зенітні ракетні комплекси, зв'язок, бойова ефективність.*

Abstract: *the features of the design and operation of the S-300V1 surface-to-air missile system have been analyzed. The key limitations of the modern use of the complex (in particular, limited ammunition and shortcomings of communication systems) have been identified, and conceptual approaches to ensuring centralized control of the automated systems of the complex have been proposed in order to improve operational efficiency, resilience, and interaction with higher-level air defense systems. Special attention is paid to enhancing communication jamming resistance, integrating modern communication channels with existing digital computing subsystems (DCS), algorithmic improvements in target tracking, and organizational procedures for implementation.*

Keywords: *centralized control, automation, surface-to-air missile systems, communication, combat effectiveness.*

Існуючі телекодові засоби зв'язку мають низьку швидкість передавання даних і недостатню пропускну здатність. Це ускладнює реалізацію централізованого управління, особливо у складних умовах радіоелектронної боротьби (РЕП). Відсутність ефективної перестройки частоти та слабка перешкодостійкість каналів зв'язку призводять до зниження якості обміну інформацією між пунктами управління та бойовими підрозділами. Вирішення цієї проблеми потребує модернізації технічних засобів комунікації та впровадження нових стандартів взаємодії.

У сучасних умовах бойового застосування виникає потреба у більш точному та стійкому виявленні маневру цілі. Складність полягає у тому, що під час перехідних режимів супроводу або за наявності шумів та похибок вимірювань алгоритми відстеження втрачають ефективність. Це знижує точність наведення ракет та збільшує витрати боєприпасів. Вдосконалення алгоритмів супроводу потребує розроблення комбінованих методів аналізу руху цілі з урахуванням кореляційних залежностей між параметрами.

Для підвищення точності супроводу балістичних цілей пропонується інтеграція приймального пристрою сигналу 1Б (на концептуальному рівні), який покращує грубу оцінку швидкості та допомагає ініціалізувати алгоритми трекінгу. Доцільно розробити адаптивні режимні переключення, що забезпечуватимуть поступовий перехід від грубих до точних методів супроводу, залежно від якості отриманих даних.

Ефективне централізоване управління потребує створення єдиних стандартів обміну цілевказівками між підрозділами. Необхідно розробити процедури делегування повноважень, а також алгоритми відмовостійкого перемикання ролей при втраті зв'язку. Важливими залишаються навчання та сертифікація особового складу, підвищення його компетентності у використанні автоматизованих систем, а також ретельне планування логістики та збереження боєзапасу відповідно до централізованих рішень.

Одним із ключових напрямів має стати впровадження сучасних політик кібербезпеки – контроль доступу, аудит подій, сегментація каналів управління та розробка процедур реагування на інциденти

Оцінювання ефективності запропонованих заходів доцільно проводити за такими узагальненими показниками: середній час від виявлення цілі до постановки завдання, рівень узгодженості рішень між різними рівнями управління, стійкість каналів зв'язку до радіоелектронних перешкод, а також частка ефективно використаних ракет при централізованому прийнятті рішень. Для перевірки доцільно проводити дослідно-пілотні випробування у контрольованих умовах, що дозволить оцінити ефективність нових алгоритмів і процедур без ризику для бойової готовності.

Першим етапом є аудит поточного стану системи та визначення ключових вимог до модернізації. Далі здійснюється розроблення й лабораторне тестування пристроїв спряження та алгоритмів управління. Третій етап передбачає проведення пілотних тренувань з обмеженим розгортанням централізованих процедур. Наступним кроком має стати поступове масштабування системи та інтеграція її з вищими рівнями протиповітряної оборони. Завершальним етапом є постійний супровід – регулярне оновлення програмних алгоритмів, аудит кіберстійкості й підготовка персоналу.

Розробка та впровадження централізованої системи управління сучасними засобами автоматизації ЗРК С-300В1 дозволяє значно підвищити оперативну ефективність комплексу. Поєднання багаторівневої архітектури управління, модернізованих засобів зв'язку та вдосконалених алгоритмів супроводу забезпечує більшу гнучкість, надійність і стійкість системи. Запропоновані концептуальні рішення орієнтовані на використання відкритих технологій і можуть бути впроваджені поступово, з обов'язковим тестуванням у безпечних умовах.

Список використаних джерел:

1. Марченко Б. С. Удосконалення системи синхронізації багатоканальної станції наведення ракет зенітного ракетного комплексу с-300в1 в режимах виявлення та супроводження повітряних цілей / Б. С. Марченко, В. В. Джус, Р. В. Титаренко // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 14 бер. 2024 р. – Харків, 2024. – С. 228–230.
2. Підвищення можливостей зенітної ракетної батареї, озброєної ЗРК С-300В1, по протидії БПЛА / А. В. Швидкий, В. В. Джус, В. В. Борисов, С. В. Кукобко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я / Information technologies: science, engineering, technology, education, health : тези доп. 32-ї міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD–2024, 22-25 травня 2024 р. – Харків : НТУ "ХПІ", 2024. – С. 1645.
3. Швидкий А.В., Рощупкін Є.С., Кукобко С.В., Шулежко В.В., Коробков Ю.В. (2022). Аналіз безпілотних літальних апаратів як цілей для зенітного ракетного комплексу С-300В1. XVI Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів "Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених" (TPRYS-2022), Харків.

Романов Анатолій Павлович *– курсант 342Б навчальної групи факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: romanov.anatoli456@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0002-7394-5665*

Титаренко Роман Володимирович *– викладач кафедри озброєння зенітних ракетних військ (зенітних ракетних комплексів середньої дальності) факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: rideek@outlook.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-7159-2934*

Anatolii Romanov *– cadet 342B of the training group of the Faculty of Anti-Aircraft Missile Forces, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska*

Street, postal code 61023, e-mail: romanov.anatoli456@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0002-7394-5665

***Roman Tytarenko** – lecturer at the Department of Air Defense Missile Forces Armament (medium-range missile systems) of the Faculty of Air Defense Missile Forces at the Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: rideek@outlook.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-7159-2934*

УДК 621.39:623.1/.7

Цикалов М. В., Титаренко Р. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ЗАХОДІВ ТА ЗАСОБІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЄЮ В СКЛАДНІЙ ПЕРЕШКОДОВІЙ ОБСТАНОВЦІ В УМОВАХ ВОГНЕВОГО ВПЛИВУ З БОКУ ПРОТИВНИКА

Анотація: *проаналізовано функціонування та взаємодії сучасних засобів зв'язку , визначено ключові обмеження сучасного застосування зенітного ракетного комплексу С-300В1 і запропоновано можливі системи для заміни або розробки на їх основі вітчизняної цифрової системи зв'язку між бойовими засобами комплексу з метою підвищення можливостей щодо виконання основного завдання, тобто ураження повітряного противника. Окрему увагу приділено питанням підвищення перешкодостійкості зв'язку.*

Ключові слова: *бойові засоби, зв'язок, багатоканальна станція наведення ракет, пускова установка, цифрові системи.*

Abstract: *the functioning and interactions of modern communication tools were analyzed, the key limitations of the current application of the S-300V1 surface-to-air missile system were identified, and possible systems for replacement or for the development of a domestic digital communication system based on them, connecting the combat assets of the complex, were proposed with the aim of enhancing the capabilities to perform the primary task, namely, the engagement of aerial adversaries. Special attention was paid to issues of increasing communication jam resistance.*

Keywords: *combat assets; communications; multichannel missile-guidance station; launcher; digital systems.*

Система телекодового зв'язку (далі – СТЗ) зенітного ракетного комплексу С-300В1 є дуже застарілою і в умовах сучасної війни не є доцільною для використання її в режимі радіозв'язку в інтенсивній перешкодовій обстановці противника. Хоча з бойового досвіду застосування і використовують СТЗ як теперішній вихід зв'язок між бойовими засобами за допомогою польового кабелю П-274 – "польовці", це не дає можливості при веденні бойової роботи винести елементи комплексу на достатню відстань.

Однією з головних проблем сучасного функціонування комплексу залишається застаріла структура зв'язку, побудована на застарілій елементній базі з обмеженою пропускною здатністю. Такі системи не забезпечують необхідної швидкості обміну даними між пунктом бойового управління та підлеглими елементами з використанням радіозв'язку, особливо в умовах активного радіоелектронного протиборства. Висока насиченість ефіру завадовими сигналами, застосування засобів РЕБ та динамічні зміни тактичної обстановки призводять до втрат пакетів інформації, затримок у передачі команд та зниження точності цілевказівок.

Для підвищення надійності управління бойовими засобами пропонується впровадження цифрової архітектури зв'язку на основі багатоканальної мережі з автоматичною перебудовою частоти та адаптивною маршрутизацією трафіку.

Під телекодовим зв'язком зазвичай розуміють цифрові дата-лінки – канал передачі кодованих тактичних і командних повідомлень між радарами, пунктами бойового управління, пусковими установками й самими ракетами – включно з телеметрією, оновленнями траєкторії (mid-course updates), станом бойового комплекту та сигналами розпізнавання (IFF).

За приклади сучасних систем телекодового зв'язку можна розглянути кілька комплексів що були передані країнами-партнерами, такі як, Patriot, Nasams, в яких завдяки цифровій системі зв'язку можливий виніс елементів від 1 до 10 кілометрів, а також Ізраїльський комплекс Iron Dome, який використовує mesh network, тобто розподілену, багатошляхову (self-healing) мережу радіолокаторів і пускових установок, де кожна РЛС може передавати (ретранслювати) дані (multi-hop) і мережа не залежить від єдиного центрального хосту. В умовах сучасної війни розгортання комплексу за мережею mesh має достатньо переваг таких як:

– підвищення живучості за ракхунок роботи системи в умовах втрати вузлів;

– більша швидкість обробки і обміну даними між локатором і пусковими;
– гнучка інтеграція з національними/альянсовими TDL через шлюзи.

У відкритих джерелах про ЗРК Patriot часто згадується “PADIL” (Patriot Data Information Link) – мережа UHF-“shots” між батареями та ICC (Information and Coordination Central). У Patriot-батальйоні є OE-349 антенна група та UHF, що створюють захищені зв’язки батарея-ICC. Це дозволяє розносити бойові засоби до 2 кілометра по оптичному волокну, і до 10 кілометрів по радіозв’язку , з використанням ретрансляторів.

ЗРК NASAMS побудований як “net-centric” (розподілені вузли) – Fire Distribution Center (FDC) є C2-вузлом, який інтегрує різні радари і керує пусковими лініями. Тобто NASAMS FDC може працювати як вузол, який збирає інформацію з різних радарів, роздає задачі батареям і через TDL (або національні канали) координує дії з елементами комплексу і можливими іншими комплексами союзників.

Тобто сучасні комплекси завдяки цифровим засобам телекодового зв’язку можуть бути пов’язані в одну мережу для обміну інформацією. Мають достатню швидкість передачі інформацією і більш високий рівень завадозахищеності зв’язку порівняно з застарілою пострадянською системою.

Список використаних джерел:

1. Принципи побудови та бойового застосування зенітної ракетної системи С-300В1 :
навч. посіб.. / Д.М. Крючков, Є.С. Рощупкін, С.В. Бондаренко та ін. – Х. : ХНУПС , 2024. – 296с.
2. Стаття ”Patriot PAC-3 MSE GEM-T“ – https://www.armyrecognition.com/military-products/army/air-defense-systems/air-defense-vehicles/patriot-pac-3-mse-gem-t-air-defense-missile-system-data
3. Nasams air defence system – https://www.kongsberg.com/kda/what-we-do/defence-and-security/integrated-air-and-missile-defence/nasams-air-defence-system/
4. Multi domain Iron Dome – https://www.rafael.co.il/system/iron-dome/

Цикалов Михайло Володимирович *– курсант 342Б навчальної групи факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: mykhailo.cykal0v@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0002-9976-3907*

Титаренко Роман Володимирович *– викладач кафедри озброєння зенітних ракетних військ (зенітних ракетних комплексів середньої дальності) факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: rideek@outlook.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-7159-2934*

Mykhailo Tsykalov *– cadet 342B of the training group of the Faculty of Anti-Aircraft Missile Forces, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: mykhailo.cykal0v@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0002-9976-3907*

Roman Tytarenko *– lecturer at the Department of Air Defense Missile Forces Armament (medium-range missile systems) of the Faculty of Air Defense Missile Forces at the Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: rideek@outlook.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-7159-2934*

УДК 628.8:725.9:504.05

Швець В. В., Колесник А. В.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ І АВТОНОМНІСТЬ СИСТЕМ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ЗАХИСНИХ СПОРУДАХ

Анотація: *Досліджено сучасні підходи до забезпечення енергоефективності та автономності систем життєзабезпечення в захисних спорудах цивільного призначення. Проаналізовано принципи енергозбереження, системи альтернативного енергопостачання, вентиляції, водопостачання та теплопостачання, що здатні функціонувати в автономному режимі. Наведено рекомендації щодо підвищення рівня незалежності таких систем у надзвичайних умовах.*

Ключові слова: *енергоефективність, автономність, захисні споруди, системи життєзабезпечення, енергозбереження, резервні джерела енергії.*

Abstracts: *Modern approaches to ensuring energy efficiency and autonomy of life support systems in civil defence structures are investigated. The principles of energy conservation, alternative energy supply systems, ventilation, water supply and heat supply capable of operating in autonomous mode are analysed. Recommendations are given on how to increase the independence of such systems in emergency conditions.*

Keywords: *energy efficiency, autonomy, protective structures, life support systems, energy conservation, backup energy sources.*

Вступ

В умовах воєнних дій та надзвичайних ситуацій питання енергоефективності та автономності систем життєзабезпечення в захисних спорудах набувають особливого значення. Від безперебійного функціонування вентиляції, освітлення, водопостачання, каналізації та опалення залежить не лише комфорт, а й виживання людей, які перебувають у сховищах тривалий час.

З огляду на загальну тенденцію до енергозбереження та впровадження «зелених» технологій, необхідним є переосмислення підходів до проєктування інженерних систем захисних споруд з урахуванням вимог автономності.

Основна частина

Сучасні технології дозволяють інтегрувати у конструкцію захисних споруд системи, здатні функціонувати незалежно від централізованих мереж, використовуючи локальні джерела енергії, води та системи очищення повітря [1].

Енергоефективність передбачає мінімізацію витрат енергоресурсів при забезпеченні необхідного рівня комфорту та безпеки. У контексті захисних споруд це досягається за рахунок [1,2]:

- застосування теплоізоляційних матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності;
- оптимізації теплового балансу споруди (утилізація тепла від електроприладів, освітлення, людей);
- використання енергоощадного обладнання (світлодіодне освітлення, електродвигуни з частотним регулюванням);
- впровадження систем рекуперації тепла у вентиляційних установках.

Такі заходи дають змогу суттєво знизити потребу у зовнішніх енергоресурсах та продовжити автономну роботу систем під час відключення основних мереж.

Автономність захисної споруди визначається можливістю забезпечення життєдіяльності людей у випадку повного відключення зовнішніх комунікацій. Основними складовими автономності є [3]:

- енергетична автономність – наявність незалежного джерела електроенергії (акумуляторні батареї, дизельні чи газові генератори, сонячні панелі);
- автономне повітропостачання – фільтровентиляційні системи з ручними приводами, системами рекуперації та очищення;
- водозабезпечення та каналізація – наявність запасів води, систем локальної очистки та накопичувальних резервуарів;
- тепловий баланс – мінімізація тепловтрат, використання систем теплоутилізації, енергоощадного освітлення.

Для забезпечення безперебійного електроживлення доцільно використовувати комбіновані джерела енергії:

- дизельні або бензинові генератори (як основні та резервні джерела);
- акумуляторні системи з інвертором (для забезпечення роботи критично важливих приладів у перші години після зникнення зовнішнього живлення);
- сонячні панелі з буферними накопичувачами (як довготривале альтернативне джерело);
- гібридні системи – поєднання генератора, акумуляторів і фотоелектричних модулів, що забезпечують стабільну роботу навіть у разі тривалих відключень.

У разі правильного балансування енергетичного навантаження такі комплекси можуть забезпечувати автономність споруди протягом декількох діб або навіть тижнів.

У захисних спорудах життєво важливими є системи вентиляції, очищення повітря та підтримання мікроклімату [4]. Для підвищення енергоефективності використовуються системи рекуперації тепла (рекуператори пластинчастого або роторного типу), які дозволяють зменшити втрати енергії при вентиляції до 60–80 %. Додатково в системах вентиляції застосовуються енергоефективні вентилятори постійного струму (DC), які споживають на 30–40 % менше електроенергії порівняно зі стандартними аналогами.

Основні напрями підвищення автономності систем вентиляції [5]:

- застосування фільтровентиляційних установок з можливістю ручного або механічного приводу;
- використання теплоутилізаторів для підігріву приточного повітря за рахунок відпрацьованого;
- встановлення теплових насосів для економного опалення при наявності джерела електроенергії;
- впровадження резервних систем водопостачання (накопичувальні баки, гідроакумулятори, системи очищення дощової води).

Збереження стабільного теплового режиму є критичним у тривалому режимі автономності. Основні напрямки енергоефективності включають:

- застосування термоізоляційних матеріалів (базальтові плити, пінополіуретан, спінене скло);
- використання інфрачервоних систем обігріву з низьким енергоспоживанням;
- впровадження теплових акумуляторів (фазозмінні матеріали, ємнісний нагрів);
- рекуперація тепла повітря та стічних вод для обігріву приміщення.

Комплексне теплоутримання дозволяє зменшити витрати енергії на обігрів до 40–50 %.

Сучасні технології дозволяють впроваджувати інтелектуальні системи керування енергоспоживанням, що оптимізують роботу обладнання відповідно до реальних потреб. Такі системи можуть функціонувати локально, без підключення до мережі інтернет, використовуючи контролери або мікропроцесорні модулі.

Особливу увагу слід приділяти енергетичній безпеці — захисту систем від перевантажень, коротких замикань, вібрацій та підвищеної вологості.

У найближчій перспективі очікується розширення використання відновлюваних джерел енергії, акумуляторів нового покоління, а також систем централізованого моніторингу для груп захисних споруд [6]. Розвиток технологій «розумного сховища» дозволить автоматизувати більшість процесів життєзабезпечення при мінімальних витратах енергії.

Висновки

Енергоефективність і автономність є ключовими критеріями надійності сучасних захисних споруд. Інтеграція альтернативних джерел енергії, енергоощадного обладнання та систем автоматичного керування забезпечує безперебійну роботу життєво важливих систем у кризових умовах.

Комплексний підхід до проєктування інженерних систем із врахуванням енергетичної незалежності підвищує рівень безпеки населення та зменшує залежність від зовнішніх енергетичних мереж.

Список використаних джерел:

1. ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту».
2. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціювання».
3. ISO 50001:2018 Energy Management Systems – Requirements with Guidance for Use.
4. Джеджула В.В. (2023). Особливості влаштування вентиляції в захисних спорудах цивільного захисту// Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 20(2), 185- 189. https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-2-185-189.
5. Томчук М.А., Колесник А.В., Записов Д.В. Особливості влаштування систем вентиляції в захисних спорудах в умовах військового часу. VII Міжнародної науково-практичної конференції Актуальні проблеми та перспективи розвитку охорони праці, Безпеки життєдіяльності та цивільного захисту (29-30 квітня 2025 р.) м. Одеса. Режим доступу: https://odaba.edu.ua/upload/files/Programa_konf_ohorona_pratsi2025.pdf.
6. Колесник А.В., Томчук М.А., Томчук М.М. Особливості влаштування захисних споруд в умовах військового часу. [Електронний ресурс] / А.В. Колесник, М.А. Томчук / Міжнародно науково-практична інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців. Молодь в науці: дослідження, пробле-ми, перспективи (МН-2024) (2024) Вінниця, ВНТУ.
Режим доступу: https://confere nces.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/21538.

Швець Віталій Вікторови – к.т.н., доцент, завідувач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua. ORCID:0000-0002-2748-3685.

Колесник Андрій Вікторович – асистент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

Shvets Vitaliy V. – Ph.D., associate professor of urban planning and architecture, Vinnytsia National Technical University. E-mail: v.shvets@vntu.edu.ua. ORCID: 0000-0002-2748-3685.

Kolesnik Andrii V. – assistant Professor, Department of Construction, Urban Planning and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

УДК 621.43

Ковальчук І. В., Мороз Л. В., Мамківський І. В.

ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ АВТОМОБІЛЬНОЇ РОТИ БАЗИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Анотація. *Досліджено шляхи підвищення ефективності функціонування системи технічного обслуговування та ремонту військових автомобілів, на прикладі КрАЗ-6322. Проведено аналіз існуючої системи ТО, розроблено метод прогнозування технічного стану вузлів і агрегатів автомобілів, визначено оптимальні періодичності контрольно-технічного обслуговування з урахуванням терміну експлуатації та пробігу.*

Ключові слова: *військові автомобілі, технічне обслуговування, ремонт, контрольно-технічне обслуговування, прогнозування технічного стану, надійність.*

Abstract. *Ways to improve the efficiency of the maintenance and repair system for military vehicles were studied using the KrAZ-6322 as an example. An analysis of the existing maintenance system was conducted, a method for predicting the technical condition of vehicle components and assemblies was developed, and optimal maintenance intervals were determined, taking into account the service life and mileage.*

Keywords: *military vehicles, maintenance, repair, inspection and maintenance, technical condition prediction, reliability.*

Вступ

Під час експлуатації військових автомобілів їх технічний стан погіршується, знижується надійність що може викликати відмову. Наявна система технічного обслуговування та ремонту базується на середньостатистичному пробігу автомобіля, не враховуючи фактичного стану його елементів, зокрема двигунів, що призводить до простоїв, та навіть скорочення строку експлуатації техніки.

Результати дослідження

Результати проведеного дослідження показують, що для військових автомобілів, що вже працюють протягом довгого часу, в подальшому забезпечення відповідного рівня безвідмовної роботи може бути здійснене шляхом покращення ефективності функціонування системи технічного обслуговування та ремонту. Аналіз існуючої системи технічного обслуговування та ремонту показав, що ця система не забезпечує достатньо високої надійності автомобілів у заданому діапазоні через те, що відновлення їх працездатності між плановими обслуговуваннями здійснюється головним чином поточними ремонтами, зауважимо, що їх кількість зростає зі збільшенням напрацювання автомобіля і тривалості його експлуатації.

З метою зменшення кількості поточних ремонтів запропоновано впровадити систему контрольно-технічних обслуговувань (КТО), періодичність яких визначається з урахуванням фактичного технічного стану автомобілів. Удосконалений метод визначення періодичності КТО передбачає поділ військових автомобілів на групи залежно від терміну перебування в експлуатації та пробігу. Такий підхід дозволяє встановити оптимальні інтервали проведення обслуговування для кожної групи автомобілів окремо.

Розрахункове дослідження передбачає поділ робіт технічного обслуговування на дві групи:

- роботи, спрямовані на підтримання нормального функціонування систем, вузлів і агрегатів автомобіля;
- роботи, що виконуються за результатами контролю технічного стану та прогнозування можливих відмов.

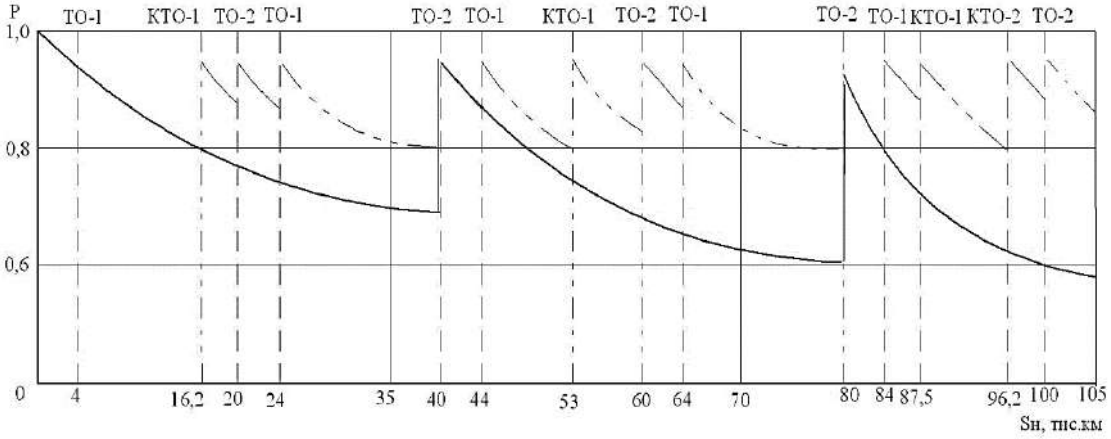
Періодичні роботи другої групи доцільно виконувати у терміни, визначені за допомогою вдосконаленого методу встановлення періодичності проведення КТО.

Основними показниками для розподілу автомобілів на технічні групи визначено напрацювання з початку експлуатації, марка автомобіля та загальний термін експлуатації. На основі аналізу статистичних даних щодо виходу з ладу основних систем встановлено, що особливу увагу під час КТО необхідно приділяти вузлам ходової частини, рульовому керуванню, двигуну, системі живлення, коробці передач та електронному блоку керування.

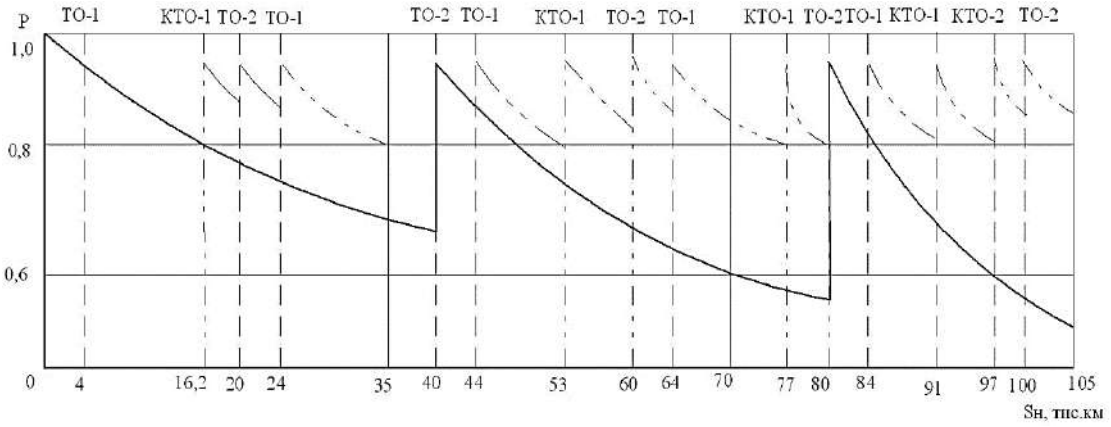
До складу робіт КТО-1 рекомендовано включити перевірку роботи двигуна, системи запалювання, ходової частини, рульового керування, коробки передач, електронного блоку керування, електропроводки та усунення виявлених несправностей. Для КТО-2 доцільно проводити перевірку

люфтів у шарових опорах, стану ременя генератора, гальмівної системи, системи охолодження, зчеплення, зносу шестерень коробки передач та виконувати необхідні регулювальні роботи.

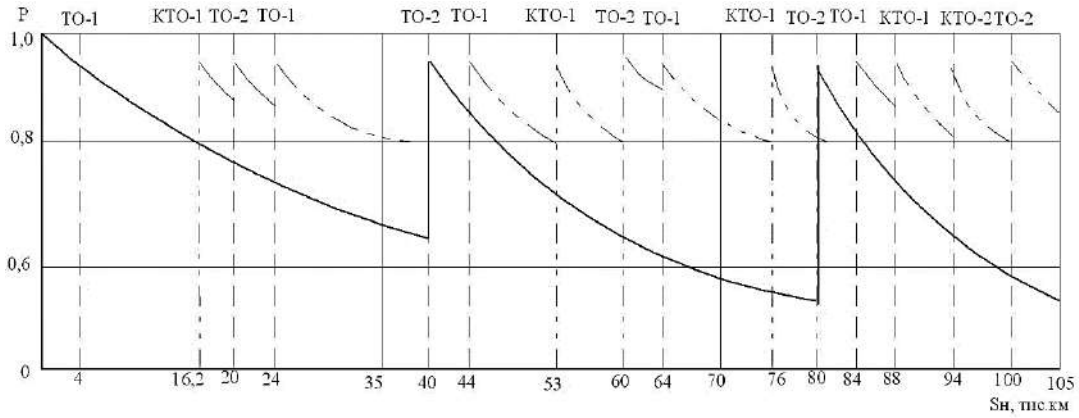
Для врахування впливу напрацювання автомобіля на періодичність проведення КТО запропоновано застосовувати коефіцієнт коригування, що залежить від пробігу та терміну експлуатації. Розраховані значення цього коефіцієнта для автомобілів КрАЗ-6322 дають змогу визначити оптимальні інтервали між обслуговуваннями. Так, для машин зі строком експлуатації 5-7 років між номерними технічними обслуговуваннями доцільно проводити п'ять додаткових КТО, з них чотири обсягом КТО-1 і одне - КТО-2, при пробігах 16,7-17,2 тис. км, 53,5-54,0 тис. км, 76,5-77,0 тис. км, 88,5-89,0 тис. км та 94,5-95,0 тис. км.



а



б



в

а – тернім експлуатації – 3 роки, б – 5 років; в – 7 років

Рисунок 1 - Рекомендації щодо удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту автомобілів КрАЗ-6322, які перебувають в експлуатації до 3 років

Таким чином, введення системи контрольно-технічних обслуговувань із урахуванням фактичного технічного стану військових автомобілів дозволяє перейти від формального підходу до більш гнучкої, адаптивної моделі технічного забезпечення. Такий підхід не лише підвищує точність планування ремонтів і зменшує кількість непередбачених відмов, а й сприяє раціональному використанню матеріальних та трудових ресурсів. Упровадження запропонованого методу стане важливим кроком до модернізації системи експлуатації автотранспортної техніки у військових підрозділах, забезпечуючи підвищення її готовності та ефективності використання.

Висновок

Виходячи з проведених досліджень, встановлено, що різноманітний характер експлуатаційних факторів призводить до неоднакового технічного стану військових автомобілів навіть при однаковому пробігу. Використання розробленої математичної моделі та удосконаленого методу визначення періодичності проведення контрольно-технічного обслуговування дозволяє своєчасно прогнозувати можливі відмови, оптимізувати обсяги робіт і підтримувати автомобілі в працездатному стані незалежно від терміну експлуатації.

Застосування запропонованого підходу на прикладі автомобілів КрАЗ-6322 показало, що проведення додаткових робіт КТО з урахуванням терміну експлуатації та напрацювання підвищує надійність, запобігає виходу техніки з ладу та знижує витрати на ремонт на 14-25%. Таким чином, впровадження методу прогнозування технічного стану є ефективним засобом підвищення експлуатаційної надійності військових автомобілів та економії ресурсів.

Список використаних джерел:

1. Захарчук В.І. Основи теорії та конструкції автомобільних двигунів: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. / В.І. Захарчук. - Луцьк: ЛНТУ, 2011 – 233 с.

2. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови. / Ю.Ф. Гутаревич, Л.П.Мержиєвська, О.В. Сирота, Д.М. Тріфонов. – К.: НТУ, 2015. – 224 с.

3. Шапко В. Ф. Автомобільні двигуни. Основи теорії та характеристики поршневих двигунів внутрішнього згоряння: навчальний посібник. / В.Ф. Шапко. – Харків: Точка, 2014. – 148 с.

4. Терещенко О.П. Деякі особливості визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування і ремонту / Терещенко О.П., Л.В. Мороз, І.В.Клімишин. Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту»: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – С. 241-243.

***Ковальчук Іван Васильович**, – доктор філософії у галузі права, старший викладач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: ivankovalchuk@vntu.edu.ua*

***Мороз Лариса Василівна –** ст. викладач, кафедра військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: morozlarisa764@gmail.com*

***Мамківський Ілля Віталійович –** студент групи 1АТ-24б, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email oriondxcvii@gmail.com*

***Kovalchuk Ivan V. –** PhD in law, senior Lecturer at the Department of Automobiles and Transport Management Faculty of Information Electronic Systemsof Machine Building and Transport Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ivankovalchuk@vntu.edu.ua*

Moroz Larysa V. – senior Lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: *morozlarisa764@gmail.com*

***Mamkivskiy Illia V. –** student of group 1AT-24b, Faculty of Mechanical engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: oriondxcvii@gmail.com*

УДК 355.665.1/3

Замкова І. В.

ОСНОВНІ ЗАСАДИ ОРГАНІЗАЦІЇ РЕМОНТУ ВІЙСЬКОВОГО ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Анотація. *У роботі розглянуто основні засади організації ремонту військового одягу та взуття у Збройних Силах України. Визначено класифікацію ремонтів за місцем виконання, ступенем дії та методами організації. Здійснено аналіз функції командирів і начальників речової служби у забезпеченні ефективного ремонту. Окреслено особливості поточного, середнього та капітального ремонту, а також значення належного матеріально-технічного забезпечення для якісного виконання робіт.*

Ключові слова: *ремонт, військовий одяг, взуття, речове майно, речова служба, військові майстерні.*

Abstract. *The paper examines the main principles of organizing the repair of military clothing and footwear in the Armed Forces of Ukraine. It outlines the classification of repair types according to location, degree, and methods of organization. The study highlights the responsibilities of commanders and logistics officers in ensuring efficient maintenance. It also describes the specifics of current, medium, and major repairs and emphasizes the importance of adequate technical and material support for high-quality repair work.*

Keywords: *repair, military uniform, footwear, material assets, logistics service, military workshops.*

Ремонт військового одягу та взуття є важливою складовою системи речового забезпечення Збройних Сил України. Його основна мета полягає у відновленні експлуатаційних характеристик предметів обмундирування та продовженні строку їх служби. Організація ремонту забезпечує підтримання боєздатності особового складу, належного зовнішнього вигляду військовослужбовців та раціональне використання матеріальних ресурсів. Ефективність ремонтних робіт залежить від чіткого поділу функцій між рівнями ремонту (поточний, середній, капітальний) та належного матеріально-технічного забезпечення.

Ремонт військового одягу та взуття представляє собою комплекс робіт для підтримки і відновлення експлуатаційних характеристик предметів шляхом своєчасної заміни чи виправлення зношених (пошкоджених) деталей і обов’язкової перевірки стану окремих деталей з усуненням виявлених неполадок.

Ремонт організовують з метою збереження речового майна від передчасного зносу. Строки носки предметів речового забезпечення встановлені з урахуванням проведення поточного та середнього ремонту за період надходження цих предметів у експлуатацію.

Ремонт поділяють:

• за місцем проведення (стаціонарний, польовий, заводський та інш.);

• за ступенем якісної дії на предмет (поточний, середній, капітальний);

• за методах ремонту (бригадний, індивідуальний, змішаний).

Існують 3 основних види ремонту військового одягу та взуття:

1) поточний ремонт в підрозділах;

2) середній – у військових частинах і з'єднаннях;

3) капітальний – у окружних комбінатах (майстернях), а у воєнний час – у пересувних майстернях [1].

Поточний ремонт обмундирування виконується в підрозділах кожним із військовослужбовцем за необхідністю. Для виконання поточного ремонту кожен військовослужбовець повинен мати при собі голку з нитками.

Неполадки, які відносяться до поточного ремонту повинні бути усунені в день їх виявлення, що дозволяє попередити подальше руйнування предметів військового одягу і є ефективним засобом підтримання статутного зовнішнього вигляду військовослужбовця. Поточний ремонт виконується в кімнатах побутового обслуговування.

Час і черговість ремонту визначають командир роти. Вони також здійснюють його матеріальне забезпечення, контроль своєчасності і якості виконання. Командир зобов’язаний:

- своєчасно забезпечити кімнати побутового обслуговування господарчим інвентарем, інструментом і ремонтними матеріалами;
- організовувати підбір, навчання та розподіл позаштатних шевців;
- перевіряти не менше одного разу в два місяці стан одягу та взуття на особовому складі;
- контролювати організацію поточного ремонту в підрозділах [2].

Середній ремонт військового одягу та взуття виконується, в основному, в штатних майстернях військових частин і з'єднань. За необхідністю він може виконуватися також силами військових округів, а в польових умовах – пересувних майстернях об'єднань.

Організовує роботу майстерень (керівник) начальник речової служби військової частини (з'єднання) і він уточнює об'єм роботи на плановий період, оцінює виробничі можливості і при необхідності приймає міри до посилення їх складу.

Начальник речової служби несе відповідальність за своєчасне забезпечення майстерень обладнанням, інструментом та ремонтними матеріалами. Він здійснює щоденний контроль за виконанням виробничих планів та якісного ремонту речового майна.

Військові майстерні виконують роботи середнього ремонту обмундирування, наметів. Вони частково ремонтують теплі речі, хоча в основному ці роботи виконуються у військовому окрузі, а в польових умовах – в установах об'єднань.

В період великого завантаження чи при недостатній штатній чисельності розпорядженням командирів частин (з'єднань) майстерні можуть бути підсилені за рахунок залучених позаштатних спеціалістів із підрозділів.

Обладнання та інструмент застосовують централізовано і відпускаються військовим частинам згідно нарядів довольчих органів. Обладнання та інвентар знаходяться в експлуатації до їх повного зносу і замінюються по мірі витрат своїх властивостей.

Капітальний ремонт військового одягу та взуття виконують в окружних майстернях (комбінатах). Ремонтний одяг надходить з окружних складів, які в свою чергу приймають його від військових частин за вказівкою начальника речової служби ОК.

Перед здачею в ремонт предмети сортирують по видах, призначенню, піддають дезинсекції, пранню чи хімічному чищенню, а непридатні до ремонту вибраковують установленим способом. Капітальний ремонт речового майна в польових умовах виконується в пересувних майстернях, що входять до складу речових складів об'єднань [2].

Організація ремонту військового одягу та взуття ґрунтується на системному підході, який передбачає проведення поточного, середнього та капітального ремонту залежно від ступеня зношеності речового майна. Поточний ремонт виконується безпосередньо у підрозділах силами військовослужбовців і спрямований на попередження подальшого пошкодження предметів обмундирування. Середній ремонт проводиться у штатних майстернях військових частин і забезпечує більш глибоке відновлення речового майна. Капітальний ремонт здійснюється у спеціалізованих окружних комбінатах або пересувних майстернях, що дає змогу повністю відновити предмети військового одягу та взуття. Раціональна організація ремонтних робіт з ремонту військового одягу та взуття сприяє економії ресурсів, продовженню строків експлуатації речового майна та підтриманню високого рівня матеріального забезпечення військ.

Список використаних джерел:

1. Про Статут внутрішньої служби Збройних Сил України : Закон України від 24.03.1999 року № 548-XIV зі змінами і доповненнями. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/548-14#Text
2. Випускнику Національної академії сухопутних військ: Рекомендації по роботі у військах. Львів: НАСВ, 2023. 375 с.

Замкова Ірина Володимирівна *– доктор економічних наук, професор, професор кафедри продовольчого та речового забезпечення Військової академії (м. Одеса), м. Одеса, Фонтанська дорога, буд. 10, e-mail: iryna_zamkova@meta.ua ORCID 0000-0001-5172-3821*

Zamkova Iryna Volodymyrivna *– Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Food and Material Supply of the Military Academy (Odessa), Odessa, Fontanska doroha, building 10, e-mail: iryna_zamkova@meta.ua ORCID 0000-0001-5172-3821*

УДК 355.415 : 657.372.3

Здір О. А.

ОРГАНІЗАЦІЯ СПИСАННЯ ЗНИЩЕНОГО ВІЙСЬКОВОГО МАЙНА ВНАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ

Анотація. *У роботі розглянуто порядок списання військового майна, втраченого або пошкодженого під час воєнних (бойових) дій. Висвітлено нормативно-правові засади бухгалтерського обліку таких операцій, визначено послідовність дій військових частин при перенесенні втрат на позабалансовий рахунок та оформленні єдиного акта списання. Особливу увагу приділено ролі первинних документів, вимогам до їх оформлення та взаємозв'язку між бухгалтерським і правовим аспектами обліку. Підкреслено значення дотримання встановлених стандартів для забезпечення прозорості, законності та обґрунтованості фінансової звітності військових частин.*

Ключові слова: *списання, військове майно, бухгалтерський облік, позабалансовий рахунок, втрати, первинні документи, воєнні дії.*

Abstract. *The paper analyzes the accounting and legal framework governing the write-off of military property lost or destroyed during combat operations. It outlines the procedural steps for transferring assets to off-balance accounts, preparing and approving write-off documentation, and determining the residual value of the property. The importance of primary accounting documents and compliance with established financial regulations is emphasized. The study concludes that adherence to these requirements ensures lawful, transparent, and accurate accounting of military losses within the Armed Forces of Ukraine.*

Keywords: *write-off, military property, accounting, off-balance account, losses, documentation, combat operations.*

Списання військового майна, знищеного або втраченого внаслідок воєнних (бойових) дій, є важливою складовою системи бухгалтерського обліку у військових частинах. Такий процес забезпечує достовірне відображення фактичної наявності активів і запобігає викривленню фінансової звітності. Організація обліку втрат регламентується чинним законодавством України, зокрема Законом України «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні», Планом рахунків бухгалтерського обліку в державному секторі, Порядком списання військового майна та Інструкцією з обліку військового майна у Збройних Силах України.

Правильне оформлення первинних документів — актів технічного стану, актів списання, наказів командира — має вирішальне значення для правомірності господарських операцій. Дотримання послідовності дій, встановленої нормативно-правовими актами, гарантує законність, прозорість і обґрунтованість облікових процедур у військових частинах під час воєнного стану.

У разі встановлення факту знищення (втрати, пошкодження) військового майна внаслідок воєнних (бойових) дій, до моменту погодження та затвердження єдиного акту списання, військова частина зобов'язана здійснити списання такого майна з регістрів бухгалтерського обліку (балансових рахунків) з перенесенням майна на відповідний позабалансовий рахунок 073 «Невідшкодовані нестачі і втрати від псування цінностей розпорядників бюджетних коштів», передбачений Планом рахунків бухгалтерського обліку у державному секторі [1]. Це забезпечує достовірне відображення фактичної наявності майна у бухгалтерському обліку та унеможливлює завищення обсягів активів до моменту прийняття остаточного рішення щодо списання втрати.

4 Пунктом 7 розділу І Порядку списання визначено, що списання (господарська операція зі списання) військового майна знищеного (втраченого) або пошкодженого (якщо відновлення такого майна неможливе або економічно недоцільне) внаслідок бойових або інших дій з боку противника, а також у зв'язку з виконанням бойового (спеціального) завдання з регістрів обліку проводиться на підставі наказу командира (начальника) військової частини (яка має особовий рахунок у відповідній службі забезпечення органу військового управління, є розпорядником бюджетних коштів та веде бухгалтерський облік відповідно до законодавства) з обов'язковим внесенням втрат (нестач) до інформаційно-комунікаційної системи або до книги обліку втрат та

книги обліку нестач військового майна (у разі відсутності відомостей щодо такого військового майна в інформаційно-комунікаційній системі) та з подальшим затвердженням єдиного акта списання військового майна [2].

Чинним законодавством визначено ряд положень та обов'язкових вимог, що застосовуються бюджетними установами в питаннях організації та ведення бухгалтерського обліку (основного виду обліку для військових частин), окремі норми яких наведено нижче.

Закон України «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні» від 16.07.1999 № 996-XIV визначає: ст.1 розділу І: господарська операція – це дія або подія, яка викликає зміни в структурі активів та зобов'язань власному капіталі підприємства; ст. 9 цього ж Закону, підставою для бухгалтерського обліку є первинні документи [3].

Положенням про документальне забезпечення записів у бухгалтерському обліку, затвердженому наказом Міністерства фінансів України від 24.05.1995 № 88 визначено: регістри бухгалтерського обліку (облікові регістри) – це носії інформації, складені у паперовій або в електронній формі, призначені для хронологічного, систематичного або комбінованого накопичення, групування та узагальнення інформації з первинних документів, що прийняті до обліку [4].

Записи у регістрах бухгалтерського обліку мають ґрунтуватися на первинних документах, які мають усі обов'язкові реквізити. Наказ керівника бюджетної установи (командира військової частини) є розпорядчим документом та не містить обов'язкових реквізитів первинного документа, визначених законодавством, а отже, не може виступати самостійною підставою для відображення господарської операції в регістрах обліку.

З метою забезпечення повної відповідності нормам бухгалтерського обліку, доцільним та обґрунтованим є супровід наказу командира військової частини про списання військового майна первинним документом, зокрема актом якісного (технічного) стану або актом списання, форми та зміст яких відповідають вимогам до первинних документів. Після оформлення такого первинного документа можливе перенесення інформації про зміну в активах (щодо втраченого майна) з балансового обліку на позабалансовий рахунок 073, 5 а далі — після завершення встановлених процедур — його остаточне списання на підставі єдиного акта списання військового майна.

Пунктом 6 розділу ІІ Порядку списання встановлено, що списання військового майна здійснюється за залишковою (балансовою) вартістю. Розрахунок залишкової вартості військового майна проводиться згідно з Методикою. У первинних документах (актах якісного (технічного) стану або актах списання) зазначається залишкова вартість втраченого майна, визначена відповідно цієї Методики [2].

При списанні військового майна за новою залишковою вартістю, визначеною відповідно до відомості залишкової вартості, необхідно дотримуватися встановлених нормативно-правових актів, зокрема Порядку списання, Інструкції з обліку військового майна у Збройних Силах України, затвердженої наказом Міністерства оборони України від 17.08.2017 № 440 [2; 5]. Згідно з цими керівними документами, переоцінка військового майна здійснюється у випадках його списання, реалізації, відчуження чи утилізації, а також за рішеннями начальників служб забезпечення органів військового управління відповідно до закріпленої номенклатури, з урахуванням вимог Національних положень (стандартів) бухгалтерського обліку в державному секторі.

На підставі затверджених командиром військової частини актів якісного (технічного) стану або актів списання на знищене (втрачене, пошкоджене) озброєння та військова техніка (далі – ОВТ) і матеріально-технічні засоби (далі- МтЗ), відповідними начальниками служб забезпечення та начальниками фінансово-економічних органів військових частин здійснюється списання з книг обліку та облікових регістрів (в тому числі з обліку за підрозділами, (матеріально-відповідальними особами)) втрачених засобів (майна) із одночасним відображенням втрат у книгах обліку втрат служби, а у фінансово-економічному органі – на позабалансовому рахунку 073 (з обов'язковим внесенням втрат (нестач) та книги обліку нестач фінансово-економічного органу). До затвердження встановленим порядком єдиних актів списання (надходження у військову частину цих актів) такі ОВТ і МТЗ рахуються за військовою частиною як втрата (за обліком підрозділів (матеріально-відповідальних осіб) – не рахуються).

Списання військового майна, втраченого або пошкодженого внаслідок бойових дій, здійснюється відповідно до вимог чинного законодавства та нормативних документів Міністерства оборони України.

Для забезпечення достовірності бухгалтерського обліку майно тимчасово переноситься з балансових рахунків на позабалансовий рахунок 073 «Невідшкодовані нестачі і втрати від псування цінностей». Підставою для проведення господарської операції зі списання є належно оформлені первинні документи — акти технічного (якісного) стану або акти списання. Остаточне списання проводиться після погодження та затвердження єдиного акта списання військового майна, із зазначенням залишкової вартості згідно з установленою Методикою.

Чітке дотримання процедур обліку втрат сприяє збереженню фінансової дисципліни, підвищенню рівня відповідальності посадових осіб та забезпеченню прозорості управління державним майном.

Список використаних джерел:

1. Про затвердження Плану рахунків бухгалтерського обліку в державному секторі : Наказ Міністерства фінансів України від 31.12.2013 № 1203. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0161-14#Text
2. Про затвердження порядку списання військового майна у Збройних Силах України та Державній спеціальній службі транспорту : Наказ Міністерства оборони України від 29.03.2021 № 81. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0655-21#Text
3. Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні : Закон України від 16.07.1999 № 996-XIV (зі змінами і доповненнями). URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/996-14#Text
4. Про затвердження Положення про документальне забезпечення записів у бухгалтерському обліку : Наказ Міністерства фінансів України від 24.05.1995 № 88. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0168-95#Text
5. Про затвердження Інструкції з обліку військового майна у Збройних Силах України : Наказ Міністерства оборони України від 17.08.2017 № 440. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1192-17#Text

Здір Олександр Анатолійович *– підполковник, старший викладач кафедри продовольчого та речового забезпечення Військової академії (м. Одеса), м. Одеса, Фонтанська дорога, буд. 10, e-mail: alezdor@gmail.com ORCID 0009-0004-5074-5462*

Zdir Oleksandr Anatoliyovych *– Lieutenant Colonel, Senior Lecturer at the Department of Food and Material Supply of the Military Academy (Odessa), Odessa, Fontanska Road, 10, e-mail: alezdor@gmail.com ORCID 0009-0004-5074-5462*

УДК 356.32

Клименко В. В.

ОРГАНІЗАЦІЙНА СТРУКТУРА І ЗАДАЧІ РЕЧОВОЇ СЛУЖБИ ВІЙСЬКОВОЇ ЧАСТИНИ

Анотація. *У роботі розглянуто організаційну структуру та основні завдання речової служби військової частини. Визначено функції підрозділів, що забезпечують речове майно, порядок його отримання, зберігання, обліку, ремонту та утилізації. Особливу увагу приділено ролі речової служби у підтриманні бойової готовності військ, а також взаємодії між службами та командуванням підрозділів. Показано значення ефективного управління матеріальними ресурсами для стабільного функціонування військової частини.*

Ключові слова: *речова служба, військове майно, забезпечення, облік, ремонт, матеріальні ресурси.*

Abstract. *The paper analyzes the organizational structure and main tasks of the clothing and equipment service of a military unit. It describes the functions related to the supply, storage, accounting, repair, and disposal of military property. The role of the service in maintaining combat readiness and ensuring efficient logistics support is highlighted. The study emphasizes the importance of effective management of material resources for the continuous and stable operation of military units.*

Keywords: *clothing and equipment service, military property, logistics, accounting, repair, combat readiness, material resources.*

Речова служба військової частини є одним із ключових елементів системи матеріально-технічного забезпечення Збройних Сил України. Вона відповідає за організацію отримання, зберігання, облік, видачу, ремонт військового майна, а також за надання послуг лазне-прального обслуговування та хімічного чищення. Її діяльність безпосередньо впливає на рівень бойової та мобілізаційної готовності військ, забезпечуючи належний стан речового майна і комфорт особового складу. Основним завданням речової служби є створення умов для безперебійного функціонування військових підрозділів як у мирний час, так і в особливий період.

Організаційно речова служба військової частини складається з наступних підрозділів (об’єктів):

1. Діловодство.
2. Речовий склад поточного забезпечення.
3. Речовий склад непорушних запасів (в мирний час).
4. Ремонтна майстерня речового майна.
5. Лазня.
6. Пральня.

Основним напрямом роботи речової служби є забезпечення високої постійної бойової та мобілізаційної готовності військ до виконання завдань за призначенням.

Відповідно, завданнями речової служби є:

- виконання заходів щодо забезпечення підрозділів матеріально-технічними засобами номенклатури речової служби, їх правильного використання та утримання в належному стані і справності, лазне-пральними послугами, послугами з ремонту і хімічного чищення речового майна у мирний час та особливий період;
- визначення штатно-табельної потреби у військовому майні за номенклатурою речової служби, необхідного для належного виконання завдань підрозділами у мирний час та особливий період;
- ведення обліку за первинними документами військового майна за номенклатурою речової служби і подання відповідної звітності;
- організація і контроль за здійсненням заходів щодо речового забезпечення, спрямованих на підтримання підрозділів в готовності до виконання завдань за призначенням;
- супроводження життєвого циклу зразків військового майна закріпленої номенклатури;

- утримання відповідних запасів військового майна за номенклатурою речової служби;
- участь у плануванні та підготовці підрозділів за своєю спеціальністю;
- утримання у належному стані навчально-матеріальної бази відповідно до своєї спеціальності.

Функціями речової служби є:

щодо виконання заходів забезпечення підрозділів матеріально-технічними засобами номенклатури речової служби, його правильного використання та утримання в належному стані і справності, лазне-пральними послугами, послугами з ремонту і хімічного чищення речового майна у мирний час та особливий період

- отримання, зберігання та видача військового майна за номенклатурою речової служби;
- організація виконання комплексу заходів з лазне-прального обслуговування, ремонту і хімічного чищення речового майна ЗС України;
- організація належного зберігання військового майна за номенклатурою речової служби на складах військових частин;
- надання пропозицій щодо внесення змін до норм забезпечення (накопичення, ешелонування, утримання, табелізації, постачання) військових частин військовим майном за номенклатурою речової служби на мирний час та особливий період;
- підготовка пропозицій щодо потреби у фінансовому ресурсі військової частини для закупівлі військового майна та послуг за номенклатурою речової служби за децентралізованими розрахунками;
- надання пропозицій щодо здійснення замовлення військового майна за номенклатурою речової служби відповідно до потреби та фінансового ресурсу;

щодо визначення штатно-табельної потреби у військовому майні за номенклатурою речової служби, необхідного для належного виконання завдань підрозділами у мирний час та особливий період

- надання пропозицій щодо розробки (внесення змін) штатів і табелів до штатів військових частин за напрямком діяльності;
- визначення штатно-табельної потреби у військовому майні за номенклатурою речової служби, для забезпечення потреб підрозділів в мирний час та особливий період;

щодо ведення обліку за первинними документами військового майна за номенклатурою речової служби і подання відповідної звітності

- організація та контроль за веденням обліку, наявністю, експлуатацією, ремонтом, законністю та правильністю списання, утилізацією та відчуженням військового майна за номенклатурою речової служби;
- надання донесень, звітів у терміни, визначені керівними документами;
- підготовка до інвентаризації військового майна за номенклатурою речової служби;
- подання узагальнених результатів проведення інвентаризації військового майна за номенклатурою речової служби до речових служб органів військового управління та довольчих органів;

щодо організації і контролю за здійсненням заходів з речового забезпечення, спрямованих на підтримання підрозділів в готовності до виконання завдань за призначенням

- проведення заходів утримання в готовності до застосування за призначенням військового майна за номенклатурою речової служби, в тому числі, дотримання міжповірочних інтервалів вимірювальних приладів;
- підготовка керівному складу військової частини інформаційно-довідкових матеріалів про стан речового забезпечення підрозділів у мирний час та в особливий період;

щодо супроводження життєвого циклу зразків військового майна закріпленої номенклатури

- проведення заходів щодо відновлення та підтримання справності військового майна закріпленої номенклатури та його придатності до використання за призначенням;

- виконання заходів щодо організації та контролю за експлуатацією, ремонтом, законністю та правильністю списання військового майна закріпленої номенклатури;

щодо утримання відповідних запасів військового майна за номенклатурою речової служби

- своєчасне поновлення та освіження військового майна за номенклатурою речової служби;

щодо участі у плануванні та підготовці підрозділів за своєю спеціальністю

- визначення потреби в підготовці спеціалістів речової служби у навчальних центрах (навчальних закладах) та надання відповідних замовлень

щодо утримання у належному стані навчально-матеріальної бази відповідно до своєї спеціальності

- контроль за використанням за призначенням та утриманням в належному стані підрозділами військового майна за номенклатурою речової служби.

Речова служба військової частини виконує широкий спектр завдань, спрямованих на забезпечення підрозділів речовим майном, підтримання його справності та облік усіх операцій із ним. Її діяльність охоплює організацію ремонту, хімічного чищення, зберігання і видачі майна, а також ведення звітності відповідно до нормативних документів.

Ефективна робота речової служби забезпечується належним функціонуванням структурних підрозділів: діловодства, складів, майстерень, лазні, пральні.

Командири і начальники речової служби несуть відповідальність за планування потреб у військовому майні, утримання запасів і своєчасне оновлення ресурсів.

Високий рівень організації речового забезпечення є запорукою боєготовності частини, дисципліни та гідного зовнішнього вигляду військовослужбовців.

Список використаних джерел:

1. Про Статут внутрішньої служби Збройних Сил України : Закон України від 24.03.1999 року № 548-XIV зі змінами і доповненнями. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/548-14#Text
2. Наказ Міністра оборони України від 16.07.1997 № 300 «Про затвердження Положення про військове (корабельне) господарство Збройних сил України» (із змінами і доповненнями).
3. Положення про речову службу Збройних Сил України від 2023 року.

Клименко Володимир Васильович *– полковник, старший викладач кафедри продовольчого та речового забезпечення Військової академії (м. Одеса), м. Одеса, Фонтанська дорога, буд. 10, e-mail: vova1970klimenko@gmail.com ORCID 0009-0002-7975-5547*

Klymenko Volodymyr Vasylyovych *– Colonel, Senior Lecturer at the Department of Food and Material Supply of the Military Academy (Odessa), Odessa, Fontanska Road, Building 10, e-mail: vova1970klimenko@gmail.com ORCID 0009-0002-7975-5547*

УДК 349.233:355.1

Конанчук М. О.

МАТЕРІАЛЬНА ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ЗА ЗБИТКИ, НАНЕСЕНІ ДЕРЖАВІ

Анотація. *В тезах розглянуто сутність і правові засади матеріальної відповідальності військовослужбовців за шкоду, завдану державі. Проаналізовано положення Закону України «Про матеріальну відповідальність військовослужбовців та прирівняних до них осіб за шкоду, завдану державі» від 2019 року, визначено умови та види матеріальної відповідальності, а також підстави її настання. Розкрито зміст понять «пряма дійсна шкода», «службовий ризик», «обмежена, повна та підвищена відповідальність». Окреслено значення правового механізму відшкодування збитків для забезпечення належного функціонування військових формувань України.*

Ключові слова: *матеріальна відповідальність, військовослужбовець, збитки, державне майно, правова відповідальність, Закон України, дисципліна.*

Abstract. *The paper analyzes the legal nature and framework of material liability of military personnel for damage caused to the state. It examines the provisions of the Law of Ukraine "On Material Liability of Servicemen and Equivalent Persons for Damage Caused to the State" (2019), identifying the conditions, grounds, and types of liability. The study explains the concepts of "actual damage," "service risk," and "limited, full, and increased liability." The importance of this legal mechanism for ensuring the protection of state assets and maintaining discipline in military units is highlighted.*

Keywords: *material liability, serviceman, losses, state property, legal responsibility, Ukrainian law, discipline.*

Матеріальна відповідальність військовослужбовців є важливим правовим механізмом забезпечення збереження державного майна та дисципліни у Збройних Силах України. Вона встановлює обов'язок військовослужбовців та прирівняних до них осіб компенсувати завдану державі шкоду, якщо така шкода виникла внаслідок протиправних дій або недбалого виконання службових обов'язків. Закон України «Про матеріальну відповідальність військовослужбовців та прирівняних до них осіб за шкоду, завдану державі» (2019 р.) визначає правові підстави, умови, види та порядок притягнення до відповідальності. Наявність чітко врегульованого механізму дозволяє забезпечити не лише відшкодування збитків, а й профілактику порушень, що сприяє підвищенню правової культури особового складу та збереженню державних ресурсів.

Відповідно до Конституції України та інших актів законодавства України військовослужбовці і призвані на збори військовозобов'язані зобов'язані бережливо ставитися до довіреної їм техніки та іншого військового майна, вживати заходів до запобігання шкоді.

Закон України від 03.10.2019 № 160-IX «Про матеріальну відповідальність військовослужбовців та прирівняних до них осіб за шкоду, завдану державі» визначає підстави та порядок притягнення військовослужбовців та деяких інших осіб до матеріальної відповідальності за шкоду, завдану державному майну, у тому числі військовому майну, майну, залученому під час мобілізації, а також грошовим коштам, під час виконання ними службових обов'язків.

У цьому Законі нижченаведені терміни вживаються в такому значенні:

1) військова частина, установа, організація, заклад – орган військового управління, військова частина, військовий навчальний заклад, військовий навчальний підрозділ вищого навчального закладу, установа, організація Міністерства оборони України, Збройних Сил України, інших утворених відповідно до законів України військових формувань, функціональний підрозділ Центрального управління, регіональний орган, інший орган, установа, заклад Служби безпеки України, правоохоронного органу спеціального призначення, Державної спеціальної служби транспорту, Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України чи орган, підрозділ, формування, установа, навчальний заклад Міністерства внутрішніх справ України, Державного бюро розслідувань та військові прокуратури, в яких проходять службу

військовослужбовці, поліцейські та особи рядового і начальницького складу (проходять збори військовозобов'язані та резервісти);

2) інше майно – нерухоме та рухоме державне майно (крім військового майна, закріпленого за військовою частиною, установою, організацією, закладом), майно, залучене під час мобілізації, а також грошові кошти;

3) командир (начальник) – командир (начальник, керівник) військової частини, установи, організації, закладу;

4) матеріальна відповідальність – вид юридичної відповідальності, що полягає в обов'язку військовослужбовців та деяких інших осіб покрити повністю або частково пряму дійсну шкоду, що було завдано з їх вини шляхом знищення, пошкодження, створення нестачі, розкрадання або незаконного використання військового та іншого майна під час виконання обов'язків військової служби або службових обов'язків, а також додаткове стягнення в дохід держави як санкція за протиправні дії у разі застосування підвищеної матеріальної відповідальності;

5) пряма дійсна шкода (далі – шкода) – збитки, завдані військовій частині, установі, організації, закладу шляхом знищення, пошкодження, створення нестачі, розкрадання або незаконного використання військового та іншого майна, погіршення або зниження його цінності, а також витрати на відновлення чи придбання військового та іншого державного майна замість пошкодженого або втраченого, надлишкові виплати під час виконання обов'язків військової служби або службових обов'язків. До шкоди не включаються доходи, які могли бути одержані за звичайних обставин, якщо таких збитків не було б завдано;

6) службовий ризик – можливість виникнення та вірогідні масштаби наслідків негативного впливу протягом певного часу, спричиненого діями або бездіяльністю особи, на яку поширюється дія цього Закону, в особливих, надзвичайних (екстремальних) умовах, спрямованими на запобігання шкоді, якщо її не можна було уникнути іншим способом.

Дія цього Закону поширюється на військовослужбовців під час виконання ними обов'язків військової служби, військовозобов'язаних та резервістів під час проходження ними зборів, а також осіб рядового та начальницького складу правоохоронних органів спеціального призначення, Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України, Міністерства внутрішніх справ України, Національної поліції України, сил цивільного захисту, Державної кримінально-виконавчої служби України, Державного бюро розслідувань, співробітників Служби судової охорони, військовослужбовців Служби безпеки України (далі – особи).

Підставою для притягнення до матеріальної відповідальності є шкода, завдана неправомірним рішенням, невиконанням чи неналежним виконанням особою обов'язків військової служби або службових обов'язків, крім обставин, визначених статтею 9 цього Закону, які виключають матеріальну відповідальність.

Умовами притягнення до матеріальної відповідальності є:

1) наявність шкоди;

2) протиправна поведінка особи у зв'язку з невиконанням чи неналежним виконанням нею обов'язків військової служби або службових обов'язків;

3) причинний зв'язок між протиправною поведінкою особи і завданою шкодою;

4) вина особи в завданні шкоди.

Притягнення особи до матеріальної відповідальності за завдану шкоду не звільняє її від дисциплінарної, адміністративної чи кримінальної відповідальності, встановленої законами України.

Переведення особи до іншого місця служби чи її звільнення з посади або служби не може бути підставою для звільнення її від матеріальної відповідальності, встановленої законом.

Особа у разі завдання з її вини шкоди третім особам, яку відшкодовано відповідно до закону військовою частиною, установою, організацією, закладом, відшкодовує військовій частині, установі, організації, закладу завдану шкоду в порядку, передбаченому цим Законом та іншими законами України.

Завдана особою шкода, не пов'язана з виконанням нею обов'язків військової служби або службових обов'язків, відшкодовується в порядку, передбаченому законами України.

Строки притягнення до матеріальної відповідальності

1. Особа може бути притягнута до матеріальної відповідальності протягом трьох років з дня виявлення завданої шкоди.

Види матеріальної відповідальності:

Обмежена матеріальна відповідальність.

1. Особа за завдану з необережності шкоду несе матеріальну відповідальність у розмірі завданої шкоди, але не більше п’ятнадцяти прожиткових мінімумів, установлених для працездатних осіб, крім випадків, коли цим Законом передбачено повну чи підвищену матеріальну відповідальність.

2. Командир (начальник), який своїм рішенням чи бездіяльністю порушив установлений порядок обліку, зберігання, використання військового та іншого майна або не вжив належних заходів, передбачених законодавством, щодо запобігання розкраданню, знищенню чи псуванню, іншому незаконному витрачанню військового та іншого майна, внаслідок чого було завдано шкоду, або щодо притягнення винних осіб до матеріальної відповідальності, несе матеріальну відповідальність у розмірі завданої шкоди, але не більше п’ятнадцяти прожиткових мінімумів, установлених для працездатних осіб.

3. Розмір прожиткового мінімуму, встановленого для працездатних осіб, визначається на день видання наказу про притягнення особи до обмеженої матеріальної відповідальності.

Повна та підвищена матеріальна відповідальність

1. Особа несе матеріальну відповідальність у повному розмірі завданої з її вини шкоди в разі:

1) виявлення нестачі, розкрадання, умисного знищення, пошкодження чи іншого незаконного використання військового та іншого майна, у тому числі переданого під звіт для зберігання, перевезення, використання або для іншої мети, здійснення надлишкових виплат грошових коштів чи вчинення інших умисних протиправних дій;

2) виявлення факту приписки в нарядах чи інших документах фактично не виконаних робіт, викривлення звітних даних або обману держави в інший спосіб;

3) завдання шкоди у стані сп’яніння внаслідок вживання алкоголю, наркотичних засобів або інших одурманюючих речовин;

4) вчинення діяння (дій чи бездіяльності), що мають ознаки кримінального правопорушення;

5) якщо особою надано письмове зобов’язання про взяття на себе повної матеріальної відповідальності за забезпечення цілісності майна та інших цінностей, переданих їй для зберігання або для інших цілей.

2. Посадові (службові) особи, винні в незаконному звільненні зі служби чи переміщенні військовослужбовця, поліцейського, особи рядового та начальницького складу, за шкоду, завдану у зв’язку з виплатами такій особі матеріального і грошового забезпечення за час вимушеного прогулу або різниці за час проходження служби на нижчеоплачуваній посаді, несуть повну матеріальну відповідальність у судовому порядку.

3. Особа за шкоду, завдану розкраданням або втратою озброєння, зброї та боєприпасів до неї, несе підвищену матеріальну відповідальність у кратному співвідношенні до вартості такого майна, але не більше десятикратного розміру. Перелік озброєння, зброї та боєприпасів до неї, нестача або розкрадання яких відшкодовується винними особами у кратному співвідношенні до їх вартості, визначається Кабінетом Міністрів України.

Матеріальна відповідальність військовослужбовців базується на принципах законності, справедливості та індивідуалізації покарання, що гарантує баланс між інтересами держави та правами військовослужбовців. Основними умовами настання відповідальності є наявність шкоди, протиправна поведінка, причинний зв’язок між дією (бездіяльністю) і збитками, а також вина особи.

Розмір завданої шкоди встановлюється за фактичними втратами на підставі даних бухгалтерського обліку з урахуванням цін, що діють на період розгляду питання про притягнення особи до матеріальної відповідальності. У разі відсутності таких даних розмір шкоди визначається суб’єктами оціночної діяльності відповідно до законодавства або за рішенням суду.

Обчислення розміру шкоди проводиться з урахуванням ступеня зносу військового та іншого майна за встановленими нормами. Якщо строк експлуатації військового та іншого майна

на дату його втрати закінчився або неможливо встановити час його втрати, відшкодування шкоди проводиться в розмірі 50 відсотків первинної вартості майна, якого не вистачає, але не нижче вартості металів, у тому числі дорогоцінних, та дорогоцінного каміння, які в ньому містяться, визначеної відповідно до законодавства про визначення розміру збитків, завданих підприємству, установі, організації розкраданням, знищенням (псуванням), недостачею або втратою дорогоцінних металів, дорогоцінного каміння та валютних цінностей.

Порядок проведення службового розслідування визначається міністерствами, іншими центральними органами виконавчої влади, правоохоронними органами спеціального призначення, Службою зовнішньої розвідки України, Державною службою спеціального зв'язку та захисту інформації України, Державним бюро розслідувань, Службою безпеки України.

За результатами проведення розслідування складається акт (висновок), який подається командиру (начальнику), що призначив розслідування, на розгляд. До акта (висновку), складеного за результатами розслідування, додаються довідка про вартісну оцінку завданої шкоди за підписом начальника відповідної служби забезпечення і фінансового органу (головного бухгалтера) військової частини, установи, організації, закладу та/або акт оцінки збитків, що складається суб'єктами оціночної діяльності.

Законодавство України передбачає три види матеріальної відповідальності: обмежену, повну та підвищену, залежно від характеру правопорушення й ступеня вини. Особливістю правового регулювання є те, що матеріальна відповідальність не звільняє військовослужбовця від інших видів юридичної відповідальності – дисциплінарної, адміністративної чи кримінальної. Належне застосування норм цього Закону сприяє зміцненню військової дисципліни, раціональному використанню державного майна та формуванню високої правосвідомості особового складу.

Список використаних джерел:

1. Закон України від 03.10.2019 № 160-IX «Про матеріальну відповідальність військовослужбовців та прирівняних до них осіб за шкоду, завдану державі»(із змінами).

2. Постанова Кабінету Міністрів України від 22.01.1996 № 116 «Про затвердження Порядку визначення розміру збитків від розкрадання, нестачі, знищення (псування) матеріальних цінностей» (із змінами).

3. Постанова Кабінету Міністрів України від 29.05.1998 № 759 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 30.12.2015 № 1158) «Про затвердження Методики визначення залишкової вартості майна Збройних Сил України та інших військових формувань» (із змінами).

4. Наказ Міністерства оборони України від 21.11.2017 № 608 «Про затвердження Порядку проведення службового розслідування у Збройних Сил України» (із змінами).

Конанчук Михайло Олександрович *– майор, викладач кафедри продовольчого та речового забезпечення Військової академії (м. Одеса), м. Одеса, Фонтанська дорога, буд. 10, e-mail: M.Konanchuk@mil.ua ORCID 0009-0003-2039-1336*

Konanchuk Mykhailo Oleksandrovych *– Major, Lecturer at the Department of Food and Material Supply of the Military Academy (Odessa), Odessa, Fontanska Road, Building 10, e-mail: M.Konanchuk@mil.ua ORCID 0009-0003-2039-1336*

УДК 621.869.:623.437

Скуділо І. О.

МЕХАНІЗАЦІЯ ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ РОБІТ В ЗБРОЙНИХ СИЛАХ УКРАЇНИ

Анотація. *У роботі розглянуто організацію механізації вантажно-розвантажувальних і транспортних робіт на речових складах. Визначено роль комплексної механізації у підвищенні ефективності праці складських робітників, наведено класифікацію засобів механізації – стаціонарних і рухливих, основних та засобів малої механізації. Проаналізовано вимоги до технічного стану обладнання, порядок його обліку, ремонту й огляду. Підкреслено значення впровадження нових механізмів і раціоналізаторських пропозицій для безперервного вдосконалення складських процесів.*

Ключові слова: *механізація, речові склади, вантажно-розвантажувальні роботи, технічне обслуговування, продуктивність праці, складське господарство.*

Abstract. *The paper examines the organization and implementation of mechanization in loading, unloading, and transportation operations at material warehouses. It highlights the importance of comprehensive mechanization for improving labor productivity and storage efficiency. The classification of mechanization tools – stationary and mobile, major and small-scale – is presented. The study outlines requirements for technical maintenance, record-keeping, and safety compliance. Emphasis is placed on the continuous enhancement of mechanization processes through modern equipment and innovative solutions.*

Keywords: *mechanization, warehouses, loading and unloading operations, maintenance, labor productivity, logistics efficiency.*

Механізація вантажно-розвантажувальних і транспортних робіт на речових складах є важливою умовою підвищення продуктивності праці, ефективності зберігання матеріальних цінностей і забезпечення належних умов праці складських робітників. Комплексна механізація дозволяє зменшити фізичні навантаження на персонал, скоротити час виконання операцій, знизити ризик пошкодження вантажів і підвищити рівень безпеки праці. Організація системи механізації передбачає правильний добір технічних засобів, розроблення схем механізації відповідно до місцевих умов і постійне вдосконалення технологічних процесів у міру надходження нової техніки та впровадження раціоналізаторських пропозицій.

Для поліпшення умов праці складських робітників і підвищення продуктивності праці речові склади оснащуються механізмами для вантажно-розвантажувальних і транспортних робіт.

Засоби механізації відпускаються в межах штатно-табельної потреби і встановлених норм за річними заявками складів тими довольчими органами, на які покладено їх забезпечення.

Механізація на складах повинна бути комплексною й охоплювати усі види робіт, зв'язані з прийманням, розвантаженням, транспортуванням, укладанням і обробкою вантажів.

Успіх комплексної механізації на речових складах залежить насамперед від правильного вибору механізмів, створення необхідних умов для ефективного їхнього використання і підготовки механізаторів, що добре знають свою справу. З цією метою на кожному речовому складі, виходячи з місцевих умов, розробляється схема механізації, якою визначається, на яких ділянках роботи механізуються і які механізми при цьому використовуються.

Для кожного сховища на основі наявної схеми механізації вантажно-розвантажувальних робіт повинна бути відпрацьована і впроваджена конкретна схема механізації вантажно-розвантажувальних робіт із застосуванням штатно-табельних засобів механізації. В міру надходження більш сучасних механізмів, упровадження раціоналізаторських пропозицій і нагромадження досвіду комплексне використання засобів механізації повинно постійно удосконалюватися. Схеми механізації затверджуються начальником складу (заступником командира частини по тилу).

Відповідальність за технічний стан і збереження засобів механізації, правильну їх експлуатацію і дотримання правил по техніці безпеки несе начальник відділу прийому і відправки, а при роботі їх у відділах зберігання і службах – відповідно начальники відділів і служб.

На кожнім складі повинні бути організовані і строго проводитися: облік роботи механізмів; плановий профілактичний ремонт усіх засобів механізації по графіках, затвердженим начальником складу; огляд технічного стану засобів механізації не рідше двох разів у рік з оформленням актів.

Засоби механізації, що використовуються на складах, підрозділяються на дві групи: стаціонарні; рухливі. До стаціонарних засобів механізації відносяться: козлові електричні крани; мостові електричні крани і крани-балки; вантажні ліфти і підйомники; електроталі; транспортери конвеєрного типу. Рухливі засоби механізації підрозділяються на основні і засоби малої механізації.

До основних засобів механізації відносяться:

- автомобільні піднімальні крани;
- автомобільні навантажувачі;
- електронавантажувачі;
- гідравлічні крани;
- електровізки;
- тягачі акумуляторні з причіпними візками;
- електроштабелери.

До засобів малої механізації відносяться – візки вантажні.

Рухливі засоби механізації можуть бути використані в будь-якому місці складської території і є найбільш ефективними.

Комплексна механізація робіт на речових складах забезпечує ефективне виконання всіх технологічних операцій – від приймання і транспортування до укладання та відправлення вантажів. Ефективність механізації залежить від правильного добору обладнання, своєчасного технічного обслуговування, навчання персоналу і дотримання правил безпеки. Стаціонарні й рухливі засоби механізації взаємодоповнюють одне одного, забезпечуючи оптимальну організацію складських процесів.

Регулярний облік роботи механізмів, профілактичні ремонти й технічні огляди є запорукою безперебійного функціонування складського господарства. Систематичне вдосконалення схем механізації сприяє зростанню продуктивності праці, економії часу та підвищенню ефективності використання матеріальних ресурсів.

Список використаних джерел:

1. З роботи речових складів об’єднаних центрів забезпечення (установ), військових частин та з’єднань Збройних Сил України : Настанова від 17 грудня 2020 р.

2. Про речове забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України» (із змінами) : Наказ МО України від 29.04.16 № 232.

3. Положення про військове (корабельне) господарство ЗС України (із змінами) : Наказ МОУ від 16.07.1997 року № 300.

4. Про затвердження Інструкції з обліку військового майна у Збройних Силах України» (із змінами) : Наказ Міністра оборони від 17.08.2017 № 440.

5. Про затвердження Положення про інвентаризацію військового майна у Збройних Силах : Постанова Кабінету Міністрів України від 3 травня 2000 року № 748.

Скуділо Ірина Олексіївна *– майор, викладач кафедри продовольчого та речового забезпечення Військової академії (м. Одеса), м. Одеса, Фонтанська дорога, буд. 10, e-mail: irinaskudilo@gmail.com ORCID 0009-0003-9325-034X*

Skudilo Iryna Oleksiivna *– Major, Lecturer at the Department of Food and Material Supply of the Military Academy (Odessa), Odessa, Fontanska doroha, building 10, e-mail: irinaskudilo@gmail.com ORCID 0009-0003-9325-034X*

УДК 355.48:355.51:628.54

Ткачук І. В.

ДІЇ ПІДРОЗДІЛІВ ЗС УКРАЇНИ ПІД ЧАС ОРГАНІЗАЦІЇ ЛАЗНЕ-ПРАЛЬНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Анотація. *У роботі розглянуто основні принципи та методи організації лазне-прального обслуговування у підрозділах Збройних Сил України в умовах бойових дій. Висвітлено ключові аспекти забезпечення особового складу водою, паливом і гігієнічними засобами, а також заходи безпеки та маскування під час розгортання польових пунктів. Окрему увагу приділено труднощам логістики, обмеженості ресурсів і необхідності мобільності систем гігієнічного забезпечення. Підкреслено значення належного санітарного обслуговування для підтримання боєздатності та здоров'я військовослужбовців.*

Ключові слова: *лазне-пральне обслуговування, Збройні Сили України, санітарія, гігієна, тилове забезпечення, бойові дії, логістика.*

Abstract. *The paper examines the organization of bath and laundry services within the Armed Forces of Ukraine during combat operations. It describes the methods used to provide water, fuel, and hygiene supplies to personnel, as well as the planning, safety, and camouflage measures required for field hygiene stations. The research identifies key logistical and operational challenges, such as water shortages and transportation difficulties, and highlights the importance of mobile and autonomous hygiene systems. Proper implementation of these measures significantly enhances combat readiness and the overall health of soldiers.*

Keywords: *bath and laundry service, Armed Forces of Ukraine, hygiene, sanitation, logistics, combat operations, support system.*

Організація лазне-прального обслуговування у підрозділах Збройних Сил України є важливою складовою тилового забезпечення, що безпосередньо впливає на бойову готовність, здоров'я та морально-психологічний стан особового складу. Під час ведення бойових дій забезпечення військовослужбовців засобами для миття здійснюється з урахуванням конкретної обстановки, наявності ресурсів та умов безпеки.

Основна увага приділяється дотриманню санітарно-гігієнічних норм, своєчасному плануванню, маскуванню пунктів гігієни, організації підвозу води, палива й засобів особистої гігієни. В умовах війни лазне-пральне обслуговування потребує мобільності, автономності та продуманої логістики, що дозволяє підтримувати належний рівень гігієни навіть у складних польових умовах.

Забезпечення особового складу засобами для миття організовувалося з урахуванням бойової обстановки та можливостей постачання. Використовувалися такі методи:

1. Безпека-розгортання лазне-пральних пунктів поза межами прямого вогневого ураження з маскуванням та охороною.
2. Планування, визначається час, місце відвідування особовим складом польових лазне-пральних пунктів.
3. Медико-санітарний контроль.
4. Організація підвозу води та палива.
5. Організація польових пунктів особистої гігієни, що розгорталися у відносно безпечних районах та використовували маскувальні заходи для запобігання виявленню.
6. Використання мобільних душових установок, які розгорталися в укриттях у віддалених районах від переднього краю.
7. Використання автономних нагрівальних пристроїв для підігріву води.
8. Використання води з каністр або резервуарів, які доставлялися разом із іншими вантажами (харчуванням, боєприпасами).
9. Постачання вологих серветок та сухих гігієнічних засобів (антисептичних серветок, дезінфекційних розчинів) для підтримання мінімального рівня санітарії.

Складнощі виконання завдання можуть бути достатньо різноплановими, та такими, що суттєво відрізняються за своєю сутністю. Основними викликами стали:

• Постійна зміна районів бойових дій ускладнює розгортання і роботу лазне-пральних пунктів.

* Обмеженість водних ресурсів та необхідність їх економного використання.

* Ризик виявлення пунктів гігієни противником через тривале перебування особового складу в одному місці.

* Логістичні труднощі при доставці засобів для миття у передові позиції.

* Недостатня кількість мобільних лазне-пральних засобів.

Ефективне лазне-пральне обслуговування є невід'ємною частиною системи тилового забезпечення підрозділів ЗС України. Його організація здійснюється з урахуванням бойової обстановки, умов безпеки, логістичних можливостей та санітарно-епідемічної ситуації.

Використання мобільних душових і пральних установок, автономних нагрівальних пристроїв і засобів сухої гігієни дозволяє забезпечити мінімальні санітарні потреби навіть на передових позиціях. Основними труднощами залишаються нестача води, складність транспортування, ризик виявлення противником і обмежена кількість технічних засобів. Раціональна організація гігієнічного забезпечення підвищує боєздатність особового складу, знижує ризики захворюваності та сприяє підтриманню високого морального духу військовослужбовців.

Список використаних джерел:

1. Статут внутрішньої служби Збройних Сил України : Закон України від 24 березня 1999 р. № 548-XIV. Відомості Верховної Ради України. № 22–23, Ст. 194.

2. Польовий статут Збройних Сил України (Частина II. Тилове забезпечення) : Наказ Міністерства оборони України від 24.06.2016 № 322. К. : МО України, 2016. 68 с.

3. Інструкція з організації лазне-прального обслуговування військових частин (підрозділів) : Наказ Міністерства оборони України від 10.11.2017 № 584. К. : МО України, 2017. 42 с.

4. Настанова з тилового забезпечення Збройних Сил України (НТЗ-2021) : Наказ Генерального штабу Збройних Сил України від 14.05.2021 № 210. К. : ГШ ЗСУ, 2021. 95 с.

5. Гігієна та санітарне забезпечення військ : навч. посіб. / за ред. В. М. Ковальчука. Львів : НАСВ, 2020. 156 с.

6. Шевченко І. О., Головко О. В. Організація матеріально-технічного забезпечення військ у сучасних умовах : навч.-метод. посіб. К. : НУОУ ім. І. Черняховського, 2022. 112 с.

Ткачук Ігор Васильович *– підполковник, старший викладач кафедри продовольчого та речового забезпечення Військової академії (м. Одеса), м. Одеса, Фонтанська дорога, буд. 10, e-mail: tkachukigor71@ukr.net*

Tkachuk Ihor Vasyliovych *– Lieutenant Colonel, Senior Lecturer at the Department of Food and Material Supply of the Military Academy (Odessa), Odessa, Fontanska Road, 10, e-mail: tkachukigor71@ukr.net*

УДК 355.41:355.423.2

Пугачова Д. С.

ЛОГІСТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УРБАНІЗОВАНИХ ПОЗИЦІЙ

Анотація. *Здійснено аналіз організаційно-тактичні та технічні аспекти застосування дронової логістики для забезпечення передових позицій у міській зоні бою. Розглянуто практику доставки змін і матеріально-технічних засобів, особливості комплектування «посилок», проблеми висоти скидання, впливу РЕБ та вогневої протидії противника, а також запропоновано організаційні рішення — створення підрозділів БпАК на рівні батальйону та рекомендації щодо упаковки й маси вантажів.*

Ключові слова: *дронова логістика, БпАК, передові позиції, міська операція, доставка МТЗ, РЕБ, упаковка вантажів.*

Abstract. *The paper analyzes operational, tactical, and technical aspects of using unmanned aerial logistics to supply forward positions in urban combat. It discusses methods of personnel rotation and materiel delivery, parcel composition and weight constraints, challenges due to drop altitude and enemy electronic/kinetic countermeasures, and organizational recommendations—establishing battalion-level UAV units and adopting protective packaging solutions.*

Keywords: *UAV logistics, hexacopter, forward positions, urban warfare, materiel delivery, electronic warfare, packaging.*

У сучасних міських операціях постачання передових позицій зазнає суттєвих ускладнень через інтенсивний вогневий вплив противника, щільну міську забудову та обмеженість альтернативних маршрутів. Це призвело до поширення тактики мінімізації використання людей і наземної техніки на підступах до позицій та до впровадження безпілотної логістики — доставки матеріально-технічних засобів за допомогою важких і середніх багатороторних БпАК (дрони-гексакоптери). У тексті розглядаються практичні особливості організації таких поставок (висота скидання, обмеження по вазі, комплектування «посилок»), проблемні моменти (ударні пошкодження вантажу, РЕБ-протидія, ризики ураження дронів) і оперативно-тактичні наслідки для організації логістики у батальйоні.

В урбанізованій місцевості ротації особового складу на передових позиціях проводяться один раз на три-шість тижнів (ще навесні 2024 року ротації на позиціях проводилися раз на 2-7 діб, у багатьох випадках на бронетехніці безпосередньо до позиції). Але зараз більшість втрат особового складу відбувається під час заходу/виходу з позицій. Пересування проводиться короткими прискореними ривками від укриття до укриття. Іноді «вхід» може тривати до 2-3 діб, так само і вихід.

Доставка зміни особового складу на позиції відбувається переважно автотранспортом, рідше гусеничною бронетехнікою до точки висадки (3-4 км від позиції), а далі – у пішому порядку. Фактично унеможливлюється здійснення логістики у 3 км зоні наземними технічними засобами доставки. Всі незахищені відкриті або бар'єрні ділянки підвезення пристріляні артилерією та мінометами, а міська забудова та водні перешкоди зводять до мінімуму кількість альтернативних маршрутів. Отже, враховуючи постійний вогневий вплив противника на підступи до передових позицій, для здійснення доставки матеріально-технічних засобів використовуються сільськогосподарські дрони-гексакоптери типу «R18», Vampire (Баба Яга), «Кажан» вантажопідйомність до 15 кг, обладнаними денним і нічним баченням. Враховуючи вищезазначене, вважаємо, що доцільним є створення у кожному батальйоні підрозділу БпАК, на озброєнні якого є штатні, а також волонтерські дрони.

Забезпечення передових позицій відбувається шляхом скидання «посилок» з використанням важких дронів типу Vampire, R18 тощо. Раз на 1-3 доби (в залежності від поточної обстановки, втрат та витрат МТЗ) сержант з МТЗ підрозділу організовує підготовку посилок за замовленням бійців, що знаходяться на передових позиціях.

Особливістю (проблемним моментом) такого виду доставки є вимушена висота скидання 60-100 метрів, що обумовлено можливістю втрати контролю дрону на малих висотах, а також

вогневою протидією противника, який знає про доставку вантажів, зустрічає і намагається посадити їх за допомогою РЕБ, збивати важкі дрони вогнем зі зброї. В зв'язку з падінням зі значної висоти матеріально-технічні засоби зазнають сильного ударного навантаження. Частина їх виходить з ладу, розбивається, розливається, рветься.

Посилки треба комплектувати таким чином, щоб їх вага була не більше 10 кг. Якщо більше – дрон не витримує навантаження або починається розхитування. Воду та боєприпаси за можливістю складають окремо від інших засобів.

Приклад реальної заявки від особового складу з передових позицій приведено на слайді:

ВОДА – вода, їжа, цигарки 2, таблетки від кашлю, вологі серветки, 2 пари носків, чай;

ГРАД – вода, їжа, 2 пауербанка, солодке, цигарки 2, вологі серветки, 2 пари носків,;

ШАБЛЯ – вода, їжа, 2 пауербанка, солодке, цигарки 2, годинник, 2 пачки 5,45, вологі серветки, 2 пари носків, чай від застуди;

ВОГОНЬ – вода, хліб, кава, рукавички 2 пари, стельки, солодке, цигарки 2, цукор, вологі серветки, 2 пари носків, чай від застуди;

ВІТЕР – вода, хліб, їжа, цигарки 4, солодке,грілки, пауербанк -1, 2 пари носків, чайки гранати, вологі серветки

ЧЕБУРАШКА – вода, хліб, грілки, солодке, таблетки від печії, цигарки 4, 6 батарейок, 2 пари носків, чай від застуди, гранати, туалетний папір, вологі серветки.

В даному переліку матеріально-технічних засобів, в наявності майно практично усіх служб забезпечення логістики. У міській зоні бойових дій традиційна наземна логістика на підступах до передових позицій часто неможлива — через постійний вогневий вплив, мінні загородження та щільну забудову. Отже основною відмінністю організації та здійснення логістичного забезпечення передових позицій у міській забудові є мінімізація використання людей та наземної техніки, впровадження «дронової логістики». Впровадження дронової логістики (важкі БпАК типу Vampire, R18 тощо) дозволяє частково вирішити проблему доставки МТЗ, зменшивши залучення людей і наземної техніки. Практичні обмеження: необхідна висота скидання (60–100 м) призводить до ударних ушкоджень вантажу; оптимальна маса посилок — до 10 кг; окреме пакування води та боєприпасів підвищує шанси на збереження. Основні загрози — РЕБ-протидія, зенітний/стрілецький вогонь по дронам, а також технічні обмеження і нестача мобільних БпАК у підрозділах.

Список використаних джерел:

1. Настанова з тилового забезпечення Збройних Сил України (НТЗ-2021) : затв. наказом Генерального штабу ЗСУ від 14.05.2021 №210. Київ : Генштаб ЗСУ, 2021. 96 с.
2. Іваненко С. В. Дронова логістика у військових операціях : навч. посіб. / С. В. Іваненко. Київ : Національний університет оборони України ім. І. Черняховського, 2023. 128 с.
3. Петренко О. М. Безпілотні системи та їх тактичне застосування у міських боях : монографія / О. М. Петренко. Львів : Видавництво НУО, 2022. 184 с.
4. Звіт Інституту радіоелектроніки МО України «Протидія РЕБ та захист БпАК» : наук.-техн. доповідь / за ред. М. П. Коваля. Київ, 2021. 48 с.
5. Волонтерський логістичний хаб. Практичні рекомендації з пакування та доставки гуманітарних і бойових вантажів дронами / Волонтер. логіст. хаб. Вінниця, 2024. 36 с.
6. Шевчук І. О., Головко О. В. Організація матеріально-технічного забезпечення підрозділів у сучасних умовах : навч.-метод. посіб. / І. О. Шевчук, О. В. Головко. Київ : Нац. ун-т оборони, 2022. 112 с.

Пугачова Дар'я Сергіївна *– майор, старший викладач кафедри забезпечення військ (сил) Військової академії (м. Одеса), м. Одеса, Фонтанська дорога, буд. 10, e-mail: tarantokhsirova@gmail.com ORCID 0009-0000-6372-3896*

Pugacheva Darya Sergiyevna *– Major, Senior Lecturer, Department of Troops (Forces) Support, Military Academy (Odessa), Odessa, Fontanskaya doroha, building 10, e-mail: tarantokhsirova@gmail.com ORCID 0009-0000-6372-3896*

УДК 623.746-519

Рубльов В.І., Демченко Я.В., Отрешко Н.М.

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ РОЗВІДУВАЛЬНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ СТРАТЕГІЧНОГО ТИПУ В СУЧАСНИХ КОНФЛІКТАХ

Анотація. *У тезах комплексно проаналізовано актуальність проблеми бойового застосування безпілотних розвідувальних літальних апаратів (БРпЛА) стратегічного типу в умовах сучасних високотехнологічних конфліктів. Деталізовано ключову роль БРпЛА у забезпеченні стратегічної розвідки, формуванні стійкої інформаційної переваги та прискореній реалізації циклу "розвідка-ураження" на оперативній глибині. Проаналізовано проблему живучості цих систем в умовах інтенсивної протидії засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ) та сучасними ЗРК. Окремо розглянуто правові та етичні дилеми, пов'язані з дотриманням Міжнародного гуманітарного права (МГП) в контексті зростаючої автономності цих систем. Обґрунтовано необхідність переходу до багаторівневої системи протидії та вдосконалення міжнародної правової бази.*

Ключові слова: *БРпЛА стратегічного типу, розвідка, сучасний конфлікт, РЕБ, живучість, ШІ, мережецентрична війна, МГП, автономна зброя.*

Abstract. *The theses comprehensively analyze the relevance of the problem of the combat use of strategic unmanned reconnaissance aircraft (UNRAVs) in the conditions of modern high-tech conflicts. The key role of anti-aircraft guided missiles in providing strategic intelligence, forming a sustainable information advantage, and accelerating the implementation of the "reconnaissance-strike" cycle at operational depth is detailed. The problem of the survivability of these systems in conditions of intensive countermeasures by electronic warfare (EW) and modern air defense systems is analyzed. The legal and ethical dilemmas associated with compliance with International Humanitarian Law (IHL) in the context of the growing autonomy of these systems are separately considered. The need for a transition to a multi-level system of counteraction and improvement of the international legal framework is substantiated.*

Keywords: *strategic-type SLBMs, reconnaissance, modern conflict, electronic warfare, survivability, AI, network-centric warfare, IHL, autonomous weapons.*

Глобальні та регіональні збройні конфлікти останніх десятиліть, зокрема повномасштабна агресія Російської Федерації проти України, довели, що безпілотні літальні апарати (БпЛА) стратегічного типу перетворилися на один із вирішальних факторів ведення бойових дій.

Ці БпЛА, здатні виконувати завдання на великих відстанях, тривалий час і на значній висоті (класи HALE – High Altitude Long Endurance та MALE – Medium Altitude Long Endurance), забезпечують критично важливу інформацію для прийняття стратегічних та оперативних рішень [3].

Актуальність дослідження цієї проблеми зумовлена багатоаспектністю впливу БРпЛА на військову справу:

1. Прискорення циклу "розвідка-ураження" (F2T2EA): БРпЛА забезпечують передачу цілевказівок у режимі, близькому до реального часу, що є ключовим для ефективного застосування високоточної зброї (ВПЗ) на оперативній глибині [1].
2. Технологічна асиметрія та економічна ефективність: БРпЛА дозволяють отримати стратегічну перевагу у розвідці при значно нижчих ризиках та експлуатаційних витратах порівняно з пілотованою авіацією.
3. Правові та етичні виклики: Зростаюча інтеграція Штучного Інтелекту (ШІ) та автономних функцій у стратегічні БРпЛА порушує гострі питання щодо дотримання норм МГП та відповідальності за неправомірне застосування сили [4].

Метою досліження є комплексний аналіз сучасного стану бойового застосування БРпЛА стратегічного типу, ідентифікація головних технологічних і правових викликів, а також розробка науково-обґрунтованих пропозицій щодо вдосконалення доктрин застосування та систем протидії.

БРпЛА стратегічного типу є не просто засобами спостереження; вони є інтегруючими елементами сучасної бойової системи. А також це зміцнює технологічний вплив та відбувається зростання інформаційної переваги над противником.

Завдяки великому радіусу дії та тривалості польоту, БРпЛА забезпечують стійкий цілодобовий моніторинг об'єктів стратегічного та оперативного тилу, що недоступно для тактичних БпЛА [2].

Це дозволяє:

- Виявляти приховані або замасковані пункти управління, склади боєприпасів та шляхи підвезення логістики.
- Відстежувати динаміку переміщення стратегічних резервів і сил, що є критичним для своєчасного реагування.
- Використовувати різнорідні сенсори (радіолокаційні станції із синтезованою апертурою (SAR), радіотехнічну розвідку (РТР), гіперспектральні камери) для всепогодного та багатоспектрального збору даних .

Це забезпечує інформаційну перевагу, що є основою для успішного ведення мережецентричної війни, коли інформація швидко перетворюється на вогневе ураження.

Найбільш значущим технологічним викликом для БРпЛА є протидія засобам радіоелектронної боротьби (РЕБ). Інтенсивне використання РЕБ на сучасних театрах бойових дій зводить нанівець переваги БРпЛА, оскільки порушуються ключові функції:

1. Навігація: Глушіння або, що більш небезпечно, спуфінг GPS-сигналів (підміна координат) може повністю дезорієнтувати апарат і призвести до втрати контролю [3].
2. Зв'язок: Блокування каналів управління (С2) та передачі даних змушує БРпЛА переходити в автономний режим, обмежуючи гнучкість місії та обсяг переданої інформації.

Вирішенням є впровадження високоточних інерційних навігаційних систем (ІНС), оптичних систем навігації (відносно місцевості) та протоколів зв'язку з псевдовипадковою перебудовою робочої частоти (ППРЧ), які є стійкими до точкового глушіння.

Інтенсивне застосування БРпЛА стратегічного типу, особливо з елементами автономності, вимагає ретельного аналізу у площині міжнародного гуманітарного права (МГП) та військової етики.

Ключові принципи Міжнародного гуманітарного права (МГП) — розрізнення, пропорційність та військова необхідність — застосовуються до операцій БРпЛА, але з урахуванням нових складнощів.

Висока якість сенсорів БРпЛА дозволяє оператору точно ідентифікувати цілі. Проте, у разі ураження стратегічних цілей із подвійним призначенням (наприклад, енергетична інфраструктура), виникають труднощі [6]. Пропорційність: Ураження військової цілі має бути пропорційним до очікуваної військової переваги та не спричиняти надмірної побічної шкоди цивільному населенню. Знищення великих об'єктів інфраструктури, яке призводить до гуманітарної катастрофи (відсутність опалення, води), є предметом постійних правових дискусій.

Із зростанням ролі ШІ в БРпЛА, особливо в автономних ударних системах (хоча стратегічні БРпЛА переважно керовані, тенденція до автономності зростає), виникає так звана "дилема автономної зброї" [4].

Значущий людський контроль (МНС): Міжнародна спільнота схиляється до вимоги збереження "значущого людського контролю" над застосуванням летальної сили, щоб гарантувати можливість людини здійснити правову оцінку ситуації. Ланцюжок відповідальності: У разі неправомірного ураження важко визначити, хто несе відповідальність: оператор, який схвалив запуск; розробник алгоритму; чи командувач, який затвердив місію [6].

Це вимагає розробки нових міжнародних конвенцій щодо Літальних Автономних Систем Зброї (LAWS).

Ефективне застосування БРпЛА стратегічного типу в майбутньому вимагає комплексних технологічних, доктринальних і правових рішень. Застосування технологічної модернізації та впровадження ШІ. Повна автономність навігації: Створення систем, де ШІ не лише обробляє дані сенсорів, а й прогнозує та обходить зони РЕБ, забезпечуючи місію навіть у повній відсутності зв'язку та GPS. Інтеграція в єдиний інформаційний простір: Створення єдиної цифрової платформи для управління всіма класами БпЛА, що мінімізує час від виявлення до ураження і дозволяє швидко перерозподіляти цілі між різними засобами вогневого ураження [5].

Перспективою розвитку є доктринальні зміни та протидія. Тобто, активне "полювання" на РЕБ: Тактика повинна включати не лише пасивний захист БРпЛА, а й їхнє використання як засобів РТР для виявлення та негайного ураження джерел РЕБ противника. Ешелонована багаторівнева протидія: Пріоритет у захисті має бути наданий економічно вигідним некінетичним засобам (РЕБ, лазерні установки) та швидкісним ЗРГК, які здатні боротися з масовими та високошвидкісними цілями.

Проблема бойового застосування безпілотних розвідувальних літальних апаратів стратегічного типу є критично актуальною та багатоаспектною. БРпЛА забезпечують вирішальну інформаційну перевагу, але їхня ефективність перебуває під постійною загрозою з боку сучасних засобів РЕБ і ППО. Ключовими викликами є забезпечення стійкості в електромагнітному середовищі та необхідність інтеграції ШІ для підвищення автономності. На рівні МГП та етики зростаюча автономність вимагає чіткого визначення меж людського контролю та міжнародно-правового регулювання. Подальший розвиток потребує вкладення коштів у технології проактивної протидії РЕБ та розробку доктрин, що поєднують кінетичні та некінетичні засоби боротьби з повітряними цілями.

Список використаних джерел:

1. Андрух І.А. Роль розвідувально-ударних БПЛА у забезпеченні вогневого ураження на оперативній глибині. *Вісник Національного університету оборони України*. 2022. № 3 (60). С. 101–114.
2. Гребенюк А.В. Стратегічні БПЛА у військових доктринах провідних країн світу: досвід та перспективи. *Військово-науковий вісник*. 2023. Вип. 40. С. 110-125.
3. Дяченко А.В., Богомаз К. О. Засоби радіоелектронної боротьби як інструмент забезпечення живучості безпілотних літальних апаратів. *Збірник наукових праць Національної академії сухопутних військ*. 2023. Вип. 2 (68). С. 15-28.
4. Савченко В.Г. Штучний інтелект у системах управління стратегічними БПЛА: автономність та етичні виклики. *Наука і оборона*. 2024. № 1. С. 45–59.
5. Navalnyi O., & Terekhin K. Countering Swarm Attacks: A Multilayered Approach to Strategic UAV Defense. International Journal of Advanced Defense Systems. 2023. Vol. 10, No. 4. P. 210–225. (Технологічна протидія).
6. Petrov, I., & Koval, O. The Role of Strategic UAVs in Changing the Operational Environment: Lessons from the Russia-Ukraine War. *Journal of Defence Studies*. 2023. Vol. 15, No. 2. P. 45-60. (Розглядає ураження стратегічних цілей).

Рубльов Володимир Іванович – Кандидат технічних наук, доцент, старший викладач кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів Харківського національного університету імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, e-mail: rublik1969@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001-6300-244X

Демченко Ярослав Вікторович – здобувач першого рівня вищої освіти інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету імені Івана Кожедуба, місто Харків, e-mail: kkd565052@gmail.com. ORCID https://orcid.org/000900065320739X

Отрешко Наталія Миколаївна - старший викладач кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів Харківського національного університету імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, e-mail: otreshkonatali@gmail.com, ORCID https:// orcid.org/0000-0003-0677-3090

Volodymyr Ivanovych Rublev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Lecturer at the Department of Design and Strength of Aircraft and Engines, Ivan Kozhedub Kharkiv National University, Kharkiv. e-mail: rublik1969@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001-6300-244X

Demchenko Yaroslav Viktorovych – a first-level higher education student at the Faculty of Aviation Engineering of Ivan Kozhedub Kharkiv National University, Kharkiv city, e-mail: kkd565052@gmail.com. ORCID https://orcid.org/000900065320739X.

Nataliia Mykolaivna Otresko - Lecturer at the Department of Design and Strength of Aircraft and Engines, Ivan Kozhedub Kharkiv National University, Kharkiv. e-mail: otreshkonatali@gmail.com, ORCID https:// orcid.org/0000-0003-0677-3090

УДК 623.4.011

Головач Л. В.

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ВІЙНИ

Анотація. *У доповіді розглядаються ключові проблеми та практичні підходи до підвищення ефективності бойового застосування озброєння та військової техніки (ОВТ) в умовах сучасної війни. Проаналізовано чинники, що знижують боєздатність підрозділів: інтенсивність експлуатації, логістичні обмеження, недоліки технічного забезпечення, вплив радіоелектронної протидії та кіберзагроз, а також недостатня інтеграція інформаційних систем. Запропоновано комплексну методику підвищення ефективності, що поєднує модернізацію техніки, впровадження систем дистанційної діагностики, цифрових каналів управління, підвищення оперативності технічного обслуговування на полі бою та використання адитивних технологій для швидкого відновлення запасних частин. Наведено практичні приклади організації польових ремонтних вузлів, адаптації стандартних ТО до умов інтенсивної експлуатації й заходи щодо підвищення живучості техніки при вогневому ураженні. Надаються рекомендації для розробників техніки, командирів підрозділів та систем логістичного забезпечення щодо пріоритетних напрямів інвестицій і оперативних змін. Робота корисна для інженерно-технічного складу, командного складу та науковців у сфері військової техніки й логістики.*

Ключові слова: *ОВТ, бойове застосування, надійність, технічне обслуговування, польовий ремонт, 3D-друк, діагностика, цифрові системи, радіоелектронна боротьба, кібербезпека.*

Abstract. *The report examines key issues and practical approaches to increasing the effectiveness of the combat use of weapons and military equipment (WME) in the conditions of modern warfare. Factors that reduce the combat capability of units are analyzed: intensity of operation, logistical constraints, shortcomings in technical support, the impact of electronic countermeasures and cyber threats, as well as insufficient integration of information systems. A comprehensive methodology for increasing efficiency is proposed, combining modernization of equipment, implementation of remote diagnostics systems, digital control channels, increasing the efficiency of technical maintenance on the battlefield, and the use of additive technologies for rapid replacement of spare parts. Practical examples of organizing field repair units, adapting standard maintenance to conditions of intensive operation, and measures to increase the survivability of equipment under fire are given. Recommendations are provided for equipment developers, unit commanders, and logistics support systems regarding priority areas of investment and operational changes. The work is useful for engineering and technical personnel, command personnel, and scientists in the field of military equipment and logistics.*

Keywords: *OMEG, combat use, reliability, maintenance, field repair, 3D printing, diagnostics, digital systems, electronic warfare, cybersecurity.*

Сучасні збройні конфлікти відзначаються високим рівнем складності, інтенсивністю бойових дій та активним застосуванням новітніх технологій. У контексті війни проти України ключовим фактором залишається ефективне використання озброєння та військової техніки, що впливає на здатність підрозділів виконувати бойові завдання. Збройні Сили України демонструють успішну адаптацію до сучасних викликів, застосовуючи класичні тактичні прийоми поряд із інноваційними технологічними підходами—від використання безпілотників і засобів радіоелектронної боротьби до цифрових систем управління.

На ефективність бойового застосування озброєння впливають технічні, організаційні, логістичні та кадрові аспекти. Технічний аспект включає модернізацію обладнання, його інтеграцію з сучасними системами управління та стійкість до впливу ворожих засобів радіоелектронної боротьби. Організаційні процеси передбачають якісне планування операцій, налагоджену взаємодію між підрозділами та належну інформаційну підтримку. Особливу роль відіграє професійність екіпажів та техперсоналу—їх знання і навички прямо впливають на

підтримку техніки в належному стані. В умовах постійних бойових дій важливою залишається технічна підготовленість озброєння. Значна частина техніки може бути пошкоджена чи вийти з ладу через інтенсивне використання. Брак запасних частин і труднощі транспортування до ремонтних баз створюють ризики втрати боєготовності. Для подолання цих проблем у Збройних Силах України активно використовуються мобільні ремонтно-евакуаційні групи, які забезпечують оперативний ремонт обладнання безпосередньо поблизу лінії фронту.

Експлуатація техніки в екстремальних умовах супроводжується збільшенням кількості відмов у роботі важливих вузлів та систем. Відсутність необхідних запчастин і матеріалів змушує вдаватися до імпровізованих рішень. Значущим напрямом розвитку є налагодження виробництва критичних компонентів всередині країни та застосування технології 3D-друку для виготовлення елементів на місці проведення ремонтів. Бронетехніка, безпілотники та артилерійські установки потребують особливої уваги, бо їх ефективність прямо залежить від швидкого реагування на технічні несправності.

За таких умов мобільні пункти обслуговування, оснащені необхідним обладнанням, демонструють високі результати у відновленні боєздатності. Серед організаційних викликів залишається проблема недостатньої координації між бойовими і технічними підрозділами. Затримки у передачі даних про стан техніки впливають на своєчасність проведення ремонтів. Використання цифрових систем моніторингу, які надають командуванню актуальну інформацію про технічний стан обладнання, може значно зменшити ці ризики.

Підвищення ефективності використання озброєння вимагає комплексного підходу, який включає модернізацію техніки, оптимізацію управлінських процесів і покращення підготовки персоналу. Серед перспективних рішень—дистанційний моніторинг несправностей з можливістю прогнозування технічного обслуговування, створення інтегрованих баз даних для технічного аналізу, формування мобільних груп ремонту з використанням новітніх інструментів, включаючи 3D-принтери. Навчання персоналу є однією з ключових складових ефективного управління озброєнням. ЗСУ розробили успішну практику швидкої підготовки технічних фахівців і операторів, використовуючи практичні кейси та симулятори. Подальша інтеграція

Список використаних джерел:

1. Збройні Сили України: офіційні повідомлення Генерального штабу (2022–2024).
2. NATO Maintenance and Supply Agency (NAMSA). Maintenance Support Guidelines, 2023.
3. Jane’s Defence Weekly. Equipment Maintenance and Modernization Trends, 2024.
4. Міністерство оборони України. Концепція розвитку технічного забезпечення ЗСУ до 2030 року.
5. Ковальчук В. Інноваційні підходи до експлуатації військової техніки в умовах гібридних загроз // Військово-технічний вісник, 2023.

Головач Леонід Вячеславович *– доктор філософії, доцент кафедри Захисту України та безпеки життєдіяльності Полтавського національного педагогічного університету імені В.Г. Короленка, м. Полтава, вул. Остроградського, 2, інд. 36000,*
e-mail: golovach@gsuite.pnpu.edu.ua https://orcid.org/0000-0002-0216-5912

Golovach Leonid Vyacheslavovich *– Doctor of Philosophy, Associate Professor of the Department of Defense of Ukraine and Life Safety of Poltava National Pedagogical University named after V.G. Korolenko, Poltava, Ostrohradskoho St., 2, ind. 36000, e-mail: golovach@gsuite.pnpu.edu.ua https://orcid.org/0000-0002-0216-5912*

УДК 623.4:621.865.8:681.7

Мошаренков В. В., Т. В. Мошаренкова, Коваленко І. О.

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБРИСУ ПРИЦІЛЬНОЇ СИСТЕМИ НАЗЕМНОГО РОБОТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ

Анотація. *Актуальність роботи зумовлена сучасними потребами підвищення розвідувально-ударних можливостей наземних роботизованих комплексів та забезпечення їх автономності і надійності в умовах сучасного високотехнологічного бою.*

Сформульовано пропозиції щодо удосконалення технічного обрису прицільної системи наземних роботизованих комплексів та ремонту. Їх впровадження забезпечить підтримку високого коефіцієнта оперативної готовності у динамічному бойовому середовищі.

Ключові слова: *коефіцієнт оперативної готовності, наземний роботизований комплекс, прицільна система, ремонтопридатність, технічне обслуговування та ремонт.*

Abstract. *The relevance of the work is determined by the current need to improve the reconnaissance and strike capabilities of ground-based robotic systems and ensure their autonomy and reliability in modern high-tech combat conditions.*

Proposals have been formulated to improve the technical design of the targeting system of ground-based robotic complexes and their repair. Their implementation will ensure a high level of operational readiness in a dynamic combat environment.

Keywords: *operational readiness coefficient, ground-based robotic complex, targeting system, maintainability, maintenance and repair.*

Взаємозв’язок між війною та еволюційним розвитком усіх елементів продуктивних сил суспільного виробництва є обопільний: наукові відкриття мають революційний вплив на всі сфери суспільного життя, зокрема і військову, а військові потреби – служать каталізатором науково-технічного прогресу, водночас визначаючи способи ведення війни.

На сьогоднішній день ключовим фактором, що забезпечує одночасне вирішення багатьох завдань в інтересах міжвидових угруповань військ на різних управлінських рівнях та характеризується масовістю та інтегральним характером, є використання безпілотних систем (БС) та комплексів різного базування [1]. Оскільки БС суттєво впливають на тактику ведення бойових дій, виконуючи роль базового елементу повітряної складової в операційному циклі “розвідка – зв’язок – навігація – ураження”.

З огляду на досвід ведення бойових дій в умовах сучасної війни перед Силами безпеки та оборони України (СБО) постає нагальна потреба в оперативній адаптації, забезпеченні технологічного лідерства та комплексного вирішення організаційно-доктринальних питань. Одним із напрямів забезпечення технологічного лідерства та оперативної адаптації стає підвищення розвідувально-ударних можливостей БС, зокрема наземних роботизованих комплексів (НРК) [2], що зумовлює актуальність нашого дослідження в контексті високотехнологічного бою та забезпечення автономності й надійності. Виникає потреба у вирішенні низки технічних питань, проблема яких полягає в наступному: чинні тепловізійні системи, інтегровані в системи управління вогнем (СУВ) НРК, мають обмеження щодо енергоефективності, ремонтопридатності та швидкості інтеграції з сучасними СУВ. Внаслідок цього, низька енергоефективність знижує бойову автономність комплексу, а складність конструкції та недостатня модульність ускладнюють технічне обслуговування (ТО), що призводить до зростання середнього часу на відновлення і зниження коефіцієнта оперативної готовності. Саме цим і пояснюється гострота потреби розробки пропозицій щодо удосконалення технічного обрису прицільної системи НРК, орієнтованого на довговічність та спрощення експлуатації, що є ключовим елементом удосконалення системи ТО та ремонту (ТОтР) [3].

В межах дослідження було здійснено компаративний аналіз сучасних технологічних рішень та функціональних вимог, що детермінують експлуатаційну стійкість. Зокрема, вивчалися:

сенсорний пріоритет;

цифрова перевага;

уніфікація.

Відповідно до результатів здійсненого аналізу та з метою забезпечення експлуатаційної стійкості і мінімізації зазначених обмежень, авторами були встановлені закономірності, які зумовили наступні пропозиції:

для мінімізації енергоспоживання автономних НРК при збереженні дальності виявлення передбачається використання неохолоджуваних мікроболометрів (LWIR-діапазон, 8–12 мкм) з такими параметрами як роздільна здатність VGA та крок пікселя 12 мкм [4];

для оптимізації бойової ефективності передбачається функціонал Edge AI(ШІ) [5];

для підвищення ремонтопридатності та скорочення середнього часу на відновлення пропонується реалізація прицільної системи за модульним принципом, що передбачає конструктивне виконання у вигляді функціональних, швидкозмінних компонентів.

Впровадження вищезазначених пропозицій дозволить досягти поставленої мети та підвищити оперативну готовність через:

принцип LRU (Line replaceable unit), який забезпечить здійснення ремонту за методом заміни блоку у польових умовах, радикально скорочуючи середній час на відновлення і зниження коефіцієнта оперативної готовності.

конструктивну сепарацію (LRU) [6], яка передбачає, що внутрішня архітектура прицільної системи гарантуватиме безперешкодний доступ та швидку заміну трьох ключових модулів (оптико-сенсорного, живлення/інтерфейсного, обчислювального/ШІ). Такий підхід дозволить здійснювати поточний ремонт без потреби демонтажу всього НРК під час бойових дій;

програмне забезпечення [7], яке реалізує алгоритми корекції нерівномірностей і унеможливлює потребу в механічній шторці, забезпечує істотне зниження зносу та загальне зростання надійності системи;

інтеграцію датчиків контролю стану (температура, вологість, вібрація) у корпус прицілу, що дозволить здійснювати автоматизований збір телеметрії для реалізації прогностичного технічного обслуговування;

цифровий інтерфейс як основний канал передачі даних. Він дозволить здійснювати дистанційну діагностику та оновлення мікропрограмного забезпечення без фізичного розбирання прицілу, що сприятиме значному скороченню часу простою.

У такий спосіб, впровадження пропозицій удосконалення технічного обрису прицільної системи НРК створюватиме синергетичний ефект, при якому підвищена енергоефективність забезпечить довший час виконання місії, а модульність та надійність гарантуватиме швидке повернення системи до виконання завдань за призначенням, а також підтримку високого коефіцієнта оперативної готовності у динамічному бойовому середовищі.

Список використаних джерел:

1. Приймак А.В., Сігайло Г.П., Мошаренков В.В. Важливі проблеми створення та застосування безпілотних літальних апаратів // Новітні технології – для захисту повітряного простору: V наукової конференції Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 15-16 квітня 2009р.–. Харків: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2009. – С. 44.

2. Коваль В., Семененко О., Баранов С., Островський С., Акініна Т., Сєченєв О. Роль і місце роботизованих систем у сучасних війнах і збройних конфліктах: теоретичний аспект. Соціальний розвиток і безпека. 2023. Вип. 13 (5). С. 256–276. https://doi.org/10.33445/sds.2023.13.5.24/ (дата звернення: 28.10.2025).

3. Мошаренков В.В. Розробка роботизованих систем під час оцінки технічного стану безпілотних летальних апаратів: від ручного контролю до автоматизації / В.В. Мошаренков, А.Т. Моргунова [і ін.] // Інформаційно-вимірювальні технології ІВТ-2024. Міжнародна науково-

практична конференція. 13-14 листопада 2024 року. Тези доповідей. – Львів.: Львівська політехніка, 2024. – С. 102-103.

4. Аналіз розвитку та застосування тепловізовізорів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://trimen.com.ua/ua/blog/analiz-rozvytku-ta-zastosuvannia-teplovizoriv.html (дата звернення: 28.10.2025).

5. Переваги Edge AI (з Звіту про технології EDGE AI)Переваги Edge AI (з Звіту про технології EDGE AI) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://habr.com/ru/articles/872876/ (дата звернення: 28.10.2025).

6. Line Replaceable Unit [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.aircraftengineer.info/line-replaceable-unit-lru/ (дата звернення: 28.10.2025).

7. Мошаренков В.В., Мошаренкова Т. В., Денисенко О.О. Proposals for the use of computer technologies in the control of metrological characteristics of weapons and military technology // Новітні технології – для захисту повітряного простору: XXI Міжнародна наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 09-10 квітня 2025 р. – Харків: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2025. – С. 676

Мошаренков Віктор Васильович *– кандидат технічних наук доцент, доцент кафедри Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61023, e-mail: mosharenkov@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0002-6968-0863*

Мошаренкова Тетяна Володимирівна *– молодший науковий співробітник НЦ ПС Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61023, e-mail: tatvladsm@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0009-0004-2829-8045*

Коваленко Іван Олександрович *– слухач магістратури Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61023, e-mail:kovalenkoivan756@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0002-6968-0863*

Mosharenkov Viktor Vasylovych *– Candidate of Technical Science, Associate Professor Senior Lecturer of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska St., ind. 61023, e-mail: mosharenkov@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0002-6968-0863*

Mosharenkova Tetiana Volodymyrivna – *Junior Researcher at the Air Force Research Center of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska St., ind. 61023, e-mail: tatvladsm@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0009-0004-2829-8045*

Kovalenko Ivan Oleksandrovych *– Undergraduate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska St., ind. 61023,*

e-mail:kovalenkoivan756@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0002-6968-0863

УДК 629.7:681.5

Лиходєєв О. С., Середюк О. М., Сметанкін Р. Р.

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЙ ГІРОСКОПІВ НА РІВЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ВИНИЩУВАЧЕМ

Анотація. *Доповідь присвячена аналізу впливу сучасних гіроскопічних технологій на рівень автоматизації систем керування винищувачем. Досліджено взаємозв'язок між точністю датчиків орієнтації і можливістю реалізації складних алгоритмів автоматичного керування. Проаналізовано переваги та недоліки різних типів гіроскопів (MEMS, волоконно-оптичних, лазерних) для використання в умовах сучасного повітряного бою, зокрема за відсутності зовнішніх навігаційних сигналів. На основі викликів, виявлених в ході бойових дій, запропоновано комплекс рішень щодо модернізації інформаційної та виконавчої складових системи керування, спрямованих на підвищення її неуразливості, швидкості реакції та зниження навантаження на пілота.*

Ключові слова: *гіроскопічні технології, автоматизація керування, винищувач, інерціальна навігаційна система (ІНС), радіоелектронна боротьба (РЕБ), волоконно-оптичний гіроскоп (FOG).*

Abstract. *The report is dedicated to the analysis of the impact of modern gyroscopic technologies on the level of automation in fighter jets control systems. The interrelation between the accuracy of orientation sensors and the feasibility of implementing complex automatic control algorithms is investigated. The advantages and disadvantages of different types of gyroscopes (MEMS, Fiber-Optic, Ring Laser) for use in the conditions of modern air combat, particularly in the absence of external navigation signals, are analyzed. Based on the challenges identified during combat experience, a set of solutions for modernizing the sensor and executive components of the control system is proposed, aimed at increasing its survivability, reaction speed, and reducing pilot workload.*

Keywords: *gyroscopic technologies, control automation, fighter aircraft, Inertial Navigation System (INS), Electronic Warfare (EW), Fiber-Optic Gyroscope (FOG).*

Сучасна винищувальна авіація стикається із низкою складних викликів, зумовлених стрімким розвитком засобів ураження та радіоелектронної боротьби (РЕБ) [1, 2]. Ключовими аспектами бойової ефективності стали надзвичайна маневреність, швидкість прийняття рішень у долі секунди та здатність протидіяти екстремальним фізіологічним навантаженням на пілота. В цих умовах роль автоматизованих систем керування (АСК) стає критично важливою. Однак, ефективність будь-якої системи автоматизації безпосередньо залежить від якості та надійності вхідної інформації. Таким чином, постає проблема забезпечення АСК неспотвореними, точними та безперервними даними про просторову орієнтацію, кутові швидкості та лінійні прискорення літального апарату. Метою даного дослідження є аналіз впливу технологій гіроскопів на рівень автоматизації керування винищувачем. Тезис даної доповіді полягає в тому, що саме розвиток гіроскопічних технологій, як джерела ключової інформації про рух, є одним із основних чинників розвитку в галузі автоматичного керування, що дозволяє подолати виклики сучасного повітряного бою.

1. Сучасні вимоги до систем управління винищувачів [3, 4].

Вимоги до систем управління винищувачів п'ятого та перспективних поколінь кардинально відрізняються від класичних підходів. Ізольована робота пілота вже не забезпечує необхідної ефективності. На перший план висувається концепція інтегрованої бортової системи, де людина та автомат працюють у тісній синергії. Основними вимогами є: живучість у умовах інтенсивного впливу РЕБ, здатність до виконання маневрів з надвеликими навантаженнями, що перевищують фізіологічні можливості людини, та значне зниження когнітивного навантаження на пілота для зосередження на тактичних завданнях. Система має компенсувати людську інерцію та обмеження, перетворюючись з інструменту керування на бойового помічника.

2. Значення точного визначення орієнтації – гіроскопічні технології.

Точне та безперервне визначення орієнтації є фундаментом для будь-якої автоматизації.

Без знання власного положення в просторі неможливо реалізувати навіть найпростіший алгоритм стабілізації, не кажучи вже про складні маневри ухилення. Гіроскопи, як датчики кутової швидкості та прискорень, формують основу інерціальної навігаційної системи (ІНС), яка є автономною та незалежною від зовнішніх джерел, таких як GPS. Саме тому якість гіроскопів безпосередньо визначає потенційний рівень автоматизації: чим вища точність, швидкість відгуку та стабільність датчика, тим складніші та безпечніші алгоритми можуть бути реалізовані.

3. Порівняння типів гіроскопів та їх придатність для авіації [5, 6]

Існуючі технології гіроскопів значно відрізняються за своїми характеристиками. Механічні гіроскопи, попередники сучасних систем, відходять у минуле через наявність рухомих частин, чутливих до перевантажень. На зміну їм прийшли лазерні гіроскопи (RLG), що не мають механічних компонентів і відрізняються високою точністю та надійністю, що робить їх придатними для використання в якості основного каналу в сучасних ІНС. Однак, їхня вартість та чутливість до екстремальних перевантажень залишається певним обмеженням. Мікроелектромеханічні системи (MEMS) пропонують революційні переваги у вигляді мініатюрності, низької вартості, високої ударостійкості та енергоефективності. Хоча їхня точність історично поступалася лазерним, останні досягнення дозволяють використовувати MEMS-гіроскопи в якості резервних каналів або в системах, що не вимагають надзвичайної прецизійності. Найперспективнішими для екстремальних умов є волоконно-оптичні гіроскопи (FOG), які поєднують високу точність, відмінну стійкість до великих перевантажень, вібрацій та широкого діапазону температур, що робить їх ідеальними для винищувачів, що виконують маневри з великими навантаженнями.

4. Стан автоматизації процесів керування: проблеми, потенціал [7, 8]

На сьогоднішній день автоматизація в керуванні винищувачем переважно зосереджена на стабілізації літака, автопілоті на маршруті та допомозі при посадці. Однак потенціал для глибшої інтеграції значно ширший. Головною проблемою залишається «довіра» до автомата та гарантія його безвідмовної роботи в непередбачуваних бойових умовах. Існуючі системи часто не здатні адекватно реагувати на раптові загрози, такі як зліт ракети противника, оскільки не отримують достатньо швидкої та точної інформації від сенсорів для миттєвого ініціювання маневру ухилення. Потенціал же полягає в створенні адаптивних систем, які не лише виконують команди пілота, але й активно допомагають йому у критичних ситуаціях, компенсуючи його фізіологічні обмеження.

5. Рекомендації щодо модернізації на основі нових датчиків та рішень

На основі аналізу сучасних викликів та технологічних можливостей, можна сформулювати комплексні пропозиції щодо модернізації.

Інформаційна складова. Втрати даних про положення під час маневрів і глушіння потребують структурних змін. Переважно перейти на волоконно-оптичні гіроскопи (FOG) як основний сенсор для управління вогнем і маневром: вони витримують перевантаження й підвищують живучість. Впровадити резервування і злиття даних за триканальною архітектурою: основний канал – FOG, другий – лазерний гіроскоп (RLG), третій – якісні MEMS. Гетерогенна структура зберігає працездатність при часткових пошкодженнях. Висновок: потрібна надійна внутрішня система орієнтації, незалежна від зовнішніх сигналів.

Виконавча складова – автоматизація. На базі точної сенсорики реалізувати автоматичні режими ухилення, автоматичне стеження за ціллю та функцію повернення без пілота. Система, отримавши дані FOG, виконує оптимальні маневри, коригує положення для утримання цілі під час великих перевантажень і, у випадку поранення пілота, виводить літак з зони бою та здійснює посадку. Автоматизація стає ключовим фактором живучості літака та захисту пілота в сучасних бойових умовах ефективно.

Список використаних джерел:

1. Electronic warfare in Ukraine // JAPCC. – 2024. – URL: https://www.japcc.org/articles/electronic-warfare-in-ukraine/ (date of access: 27.10.2025).

2. The Impact of Electronic Warfare on Fighter Jets // Fly A Jet Fighter. – 2024. – URL: https://www.flyajetfighter.com/the-impact-of-electronic-warfare-on-fighter-jets/ (date of access: 27.10.2025).

3. Optimizing future air combat: autonomy and human teaming dynamics // Air Power Journal. – 2024. – URL: https://theairpowerjournal.com/optimizing-future-air-combat-autonomy-and-human-teaming-dynamics/ (date of access: 27.10.2025).

4. Artificial intelligence-human symbiosis in fighter aircraft // JAPCC. – 2023. – URL: https://www.japcc.org/articles/artificial-intelligence-human-symbiosis-in-fighter-aircraft/ (date of access: 27.10.2025).

5. Passaro VMN, Cuccovillo A, Vaiani L, De Carlo M, Campanella CE. Gyroscope Technology and Applications: A Review in the Industrial Perspective. *Sensors*. 2017; 17(10):2284. https://doi.org/10.3390/s17102284.

6. Gyroscopes for Orientation and Inertial Navigation Systems / R. Marjanović Kavanagh. – 2007. – 18 p. – URL: https://www.researchgate.net/publication/266369294_Gyroscopes_for_ Orientation_and_Inertial_Navigation_Systems_Gyroscopes_for_Orientation_and_Inertial_ Navigation_Systems. (date of access: 27.10.2025).

7. Wang J. Task-Oriented Communication for Multi-Device Cooperative Edge Inference / J. Wang, Z. Qian, C. Dong, Y. Shi, Z. Lu, W. Zhang, Z. Liu, D. Wang // arXiv.org. – 2019. – URL: https://arxiv.org/abs/1909.07834. – (date of access: 27.10.2025).

8. Human-Machine Teaming in Artificial Intelligence-Driven Air Power: Future Challenges and Opportunities for the Air Force // The Air Power Journal. – 2024. – URL: https://theairpowerjournal.com/human-machine-teaming-in-artificial-intelligence-driven-air-power-future-challenges-and-opportunities-for-the-air-force/ (date of access: 27.10.2025).

Лиходєєв Олександр Сергійович *– кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: lihas2201@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0009-0009-9509-2940.*

Середюк Олег Михайлович *– здобувач освітнього рівня бакалавр кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: olegsereduk1357@gmail.com.*

Сметанкін Ростисла Русланович *– здобувач освітнього рівня бакалавр кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: denis2001166@gmail.com.*

Lykhodieiev Oleksandr Serhiiovych *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Aviation Engineering Faculty, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: lihas2201@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0009-0009-9509-2940.*

Serediuk Oleh Mykhailovych *– Bachelor's Degree Holder of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: olegsereduk1357@gmail.com.*

Smetankin Rostyslav Ruslanovych *– Bachelor's Degree Holder of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: denis2001166@gmail.com.*

Електронне наукове видання

«АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ» (2025)

Матеріали Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції

11 – 12 листопада 2025 року Збірник наукових праць

Матеріали подаються в авторській редакції

Підписано до видання 30. 12. 2025 р.
Гарнітура Times New Roman.
Зам. № Р2025-178

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
Редакційно-видавничий відділ.

ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
press.vntu.edu.ua,
E-mail: irvc.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.