

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

В. М. Кичак, Ю. М. Воловик, А. Ю. Воловик

**МЕТОДИ ТА ПРИСТРОЇ ОБРОБКИ
РАДІОСИГНАЛІВ БОРТОВИХ АВІАЦІЙНИХ
СИСТЕМ ПОСАДКИ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2011

УДК 621.396.93

ББК 32.95

К46

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 11 від 24.06.2010 р.)

Рецензенти:

А. М. Петух, доктор технічних наук, професор

В. М. Карташов, доктор технічних наук, професор

О. І. Рибін, доктор технічних наук, професор

Кичак, В. М.

К46 Методи та пристрої обробки радіосигналів бортових авіаційних систем посадки: монографія / В. М. Кичак, Ю. М. Воловик, А. Ю. Воловик. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 208 с.

ISBN 978-966-641-391-1

В монографії розглядаються методи синтезу пристроїв обробки сигналів, стійких до широкого класу випадкових порушень працездатності кутомірного каналу системи посадки сантиметрового діапазону. Наведені результати напівнатурного експерименту, які ілюструють працездатність та ефективність застосування розроблених методів.

Розрахована на інженерно-технічних працівників, зайнятих розробками алгоритмічного забезпечення для систем та комплексів автоматизованої обробки сигналів (даних).

УДК 621.396.93

ББК 32.95

ISBN 978-966-641-391-1

© В. Кичак, Ю. Воловик, А. Воловик, 2011

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ ТА РЕЗЕРВИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ І ДОСТОВІРНОСТІ КУТОВИХ ВИМІРЮВАНЬ У РАДІОТЕХНІЧНИХ ЗАСОБАХ СИСТЕМ ПОСАДКИ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН.....	11
1.1. Архітектура радіомаячних систем посадки за стандартом TRSB.....	11
1.2. Структура бортових радіотехнічних засобів систем посадки.....	18
1.3. Методи оцінювання куткових координат ПС та фактори, що обмежують їх точність у системі посадки сантиметрового діапазону.....	21
1.3.1. Потенційна точність бортових вимірювань куткових координат	22
1.3.2. Вплив імпульсних перешкод та флуктуаційних шумів на точність первинних вимірювань куткових координат	25
1.3.3. Аналіз інструментальної точності первинних вимірювань куткових координат ПС	30
1.4. Методи контролю достовірності результатів вимірювань куткових координат ПС, що базуються на інформаційній надмірності формату радіосигналу.....	34
1.5. Постановка задачі та вибір напрямків досліджень.....	38
РОЗДІЛ 2 . МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ СИНТЕЗУ РАДІОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ СИСТЕМ ПОСАДКИ.....	44
2.1. Математична модель первинних вимірювань куткових координат ПС у термінах методу простору станів.....	45
2.2. Оптимальний фільтр для обробки потоку первинних вимірювань кута місця ПС на основі методу Калмана.....	54
2.3. Синтезу квазіоптимальних фільтрів підвищеної швидкодії та спрощеної структури.....	62
2.4. Висновки.....	72

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ СИНТЕЗУ ПРИСТРОЇВ ФІЛЬТРАЦІЇ, СТІЙКИХ ДО ПОРУШЕНЬ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РАДІО- ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМ ПОСАДКИ	74
3.1. Математична модель кутових вимірювань за наявності розладнань у радіотехнічних засобах систем посадки.....	74
3.2. Метод модифікації рівнянь оптимальної дискретної фільтрації для радіотехнічних засобів систем посадки	78
3.3. Пристрої обробки поточних вимірювань кутових координат з підвищеною стійкістю до статистично незалежних розладнань у радіотехнічних засобах систем посадки.....	82
3.4. Квазіоптимальні методи дискретної фільтрації малодостовірних кутових вимірювань	86
3.5. Методи лінеаризації пристроїв дискретної фільтрації стійких до розладнань у радіотехнічних засобах систем посадки.....	94
3.6. Математична модель радіотехнічних засобів систем посадки на випадок апріорної невизначеності щодо ймовірності появи розладнань.....	96
3.7. Оцінка ефективності пристроїв фільтрації за наявності розладнань у бортових радіотехнічних засобах систем посадки.....	98
3.7.1. Структура та методика виконання обчислювального експерименту.....	98
3.7.2. Ефективність пристроїв лінійного оцінювання кутових координат ПС при випадкових порушеннях працездатності радіотехнічних засобів систем посадки.....	101
3.7.3. Аналіз стійкості нелінійних пристроїв дискретної фільтрації до порушень працездатності радіотехнічних засобів методами статистичного моделювання.....	106
3.7.4. Аналіз стійкості адаптивної схеми дискретної фільтрації до порушень працездатності радіотехнічних засобів методом Монте-Карло.....	112
3.8. Оцінка ефективності роботи кутомірного каналу при використанні запропонованих пристроїв дискретної фільтрації	116
3.9 Висновки.....	122

РОЗДІЛ 4. ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ У БОРТОВИХ РАДІО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБАХ СИСТЕМ ПОСАДКИ.....	124
4.1. Динаміка поширення аномальних похибок у фільтрі Калмана за наявності збоїв матричного коефіцієнта передачі.....	124
4.2. Результати статистичного моделювання похибок фільтра Калмана за наявності збоїв матричного коефіцієнта передачі.....	128
4.3. Структурна організація обчислювального процесу кутових координат ПС за наявності збоїв у поточних оцінках.....	138
4.4. Результати статистичного моделювання похибок бортових радіотехнічних засобів з фільтром Калмана за умови наявності збоїв поточних оцінок кутових координат.....	143
4.5. Інженерна методика технічної реалізації пристроїв фільтрації підвищеної надійності.....	148
4.6. Висновки.....	151
РОЗДІЛ 5. ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ РАДІОТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МЕТОДОМ НАПІВНАТУРНИХ ВИПРОБОВУВАНЬ.....	153
5.1. Склад напівнатурного комплексу. Опис основних блоків та їх взаємодії з керуючою ЕОМ.....	153
5.2. Оцінка ймовірності зриву синхронізації радіотехнічних засобів методом напівнатурних випробовувань.....	160
5.3 Висновки.....	165
ВИСНОВКИ І ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ	167
ДОДАТОК А.....	172
ДОДАТОК Б.....	180
ДОДАТОК В.....	187
ДОДАТОК Г.....	190
ЛІТЕРАТУРА.....	194

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- TRSB – Time Reference Scanning Beam (Система посадки з відліком кутових координат у часовій області)
- ICAO – International Civil Aviation Organization (Міжнародна організація цивільної авіації)
- ILS – Instrumental Landing System (Інструментальна система посадки літаків)
- FAA – Federal Aviation Administration (Федеральна адміністрація по авіації)
- VOR / DME – радіотехнічна система ближньої навігації
- МНПК – Міжнародна науково-практична конференція
- ПС – повітряне судно
- СП – система посадки
- ЗПС – злітно-посадкова смуга
- ФАПЧ – фазове автоматичне підстроювання частоти
- ППЧ – підсилювач проміжної частоти
- НВЧ – надвисокі частоти
- ЕОМ – електронно-обчислювальна машина
- РМКМ – радіомаяк кута місця

ВСТУП

Гарантування безпеки посадки повітряного судна (ПС) завжди являло і являє собою складну технічну проблему. Її актуальність підтверджується майже столітньою історією розвитку авіаційної техніки [1–2]. Окрім того, динаміка розвитку посадочних засобів така, що вимоги до точності та надійності процесу посадки ПС завжди випереджали їх технічні можливості. Численні роботи проведені, головним чином, у колишньому СРСР та США [4–11, 49–50] показали, що за допомогою існуючих систем посадки важко, а іноді і неможливо виконувати посадку ПС за третьою категорією ICAO (International Civil Aviation Organization) з регламентованими показниками надійності, а саме ймовірність льотної пригоди повинна бути не більшою, ніж 10^{-7} . Цим вимогам у повній мірі відповідає система посадки сантиметрового діапазону TRSB (Time Reference Scanning Beam), яка у травні 1978 р. була затверджена ICAO у якості міжнародного стандарту на перспективу після 2000 р. Тут підвищені точність та достовірність результатів вимірювань кутових координат забезпечуються новим принципом їх отримання на борту ПС, надмірністю формату радіосигналу та методами обробки результатів первинних радіовимірювань, що ґрунтуються на застосуванні сучасних інформаційних технологій.

Оскільки система посадки сантиметрового діапазону використовує вищі частоти, ніж СП-50, СП-70 та ILS, то численні завади, внутрішньо променеві відбиття радіосигналу, які пов'язані з топографією району посадки та наявністю аеродромних споруд, суттєво послаблюються, проте повністю усунути їх не вдається [11, 14–19]. Інтерференція прямого та відбитого сигналів може призводити до падіння рівня корисного сигналу до нижчого за припустимий і за таких умов упевнений прийом сигналів кутових радіомаяків стає неможливим, внаслідок чого в потоці посадкових даних з'являються випадкові пропуски окремих результатів вимірювань, або вони супроводжуються нечастими аномальними похибками [11, 14–19]. Проте, найбільш вразливим місцем системи посадки за стандартом TRSB є фазовий канал синхронізації [5, 8, 13–14], тому що основна синхроінформація,

така як попередній сигнал настроювання бортового радіоканал, сигнал початку відліку та код ідентифікації кутової функції передаються за допомогою ненаправленої секторної антени. Це призводить до того, що у дальній зоні дії посадкової системи (у зоні інтенсивного маневрування ПС з метою заходу на посадку) енергетичні показники найнесприятливіші. Внаслідок зриву роботи фазового каналу синхронізації відбувається руйнування цілісності формату радіосигналу у випадкові моменти часу, при цьому цикл бортових вимірювань кутових координат ПС випадає через короткочасну втрату працездатності радіотехнічних пристроїв ПС. У тому випадку, коли фазовий канал синхронізації працює коректно, результати первинних вимірювань підлягають подальшій обробці для перевірки їх цілісності та достовірності, внаслідок чого імовірність неправильної ідентифікації кутових координат ПС практично наближається до нуля, але за рахунок збільшення ймовірності пропусків окремих результатів вимірювань [66–68].

Таким чином, реальним умовам польоту ПС при виконанні посадкового маневру в найбільшій мірі відповідає такий режим роботи радіотехнічних засобів, коли у вихідному потоці кутових даних, що надходить у систему автоматичного керування польотом, пілотажно-навігаційний комплекс та індикаторні прилади, присутні випадкові пропуски окремих результатів вимірювань або вони супроводжуються рідкими аномальними похибками. Проте, незважаючи на випадкові пропуски інформаційних сигналів, аномальні похибки вимірювань та можливі короткочасні відмови радіотехнічних пристроїв, у процесі керування польотом ПС повинна використовуватись лише надійна інформація, а тому є актуальною задача розробки таких методів та засобів оцінювання кутових координат ПС, які поєднують високу точність та достовірність отриманих оцінок з підвищеною стійкістю до комплексу можливих порушень працездатності радіотехнічних засобів.

Однією з перших робіт цього напрямку можна вважати роботу [31], у якій підкреслювалось, що безпосереднє застосування методу Калмана [60] до задачі обробки малодостовірних результатів первинних радіовимірювань наштовхується на певні труднощі, оскільки

згідно з [24–26], необхідна повнота апріорної інформації про динамічну модель інформативного параметра та статистичні властивості супутніх збурень та завад. У тому випадку, коли така інформація відсутня, задача оптимізації обробки радіосигналів стає некоректно поставленою. Автори робіт [27–30] пропонують йти шляхом використання принципів адаптації у розв’язанні задачі сукупного виявлення корисного сигналу та оцінювання його параметрів. У більш пізніших роботах [32–40], концепція адаптивної обробки малодостовірних вимірювань у темпі реального часу розвивалась на основі байєсового підходу. Автори вищезгаданих робіт розв’язували принципові питання обробки малодостовірних вимірювань, і отримані результати являлися собою, скоріше за все, загальнонауковий інтерес і були малоприменими для реалізації у темпі реального часу через те, що вимагали необмежено зростаючого об’єму пам’яті. Питання синтезу квазіоптимальних пристроїв обробки, які допускають практичну реалізацію із застосуванням мікропроцесорних засобів, частково розглядались у роботах [41–46, 77, 93, 102, 107, 131]. На теперішній час поточний стан широкого фронту прикладних досліджень з цієї тематики у деякій мірі віддзеркалюють роботи [41, 47, 87–95, 103, 113, 128–130, 137], проте ні в одній з вищезазначених робіт специфічні умови роботи системи посадки сантиметрового діапазону не розглядались.

В роботі, що пропонується:

1. Проведено аналіз архітектури систем посадки сантиметрового діапазону, структури радіотехнічних засобів, надмірності формату сигналу для пошуку резервів підвищення точності та достовірності первинних вимірювань кутових координат ПС у широкому діапазоні відношень сигнал/шум, потенційної та інструментальної точності первинних вимірювань кутових координат ПС.

2. Виявлені джерела нестабільності в роботі радіотехнічних засобів системи посадки, обґрунтована необхідність застосування спеціальних методів обробки радіосигналів з метою зменшення негативного впливу розладнань на точність та достовірність оцінювання кутових координат.

3. Розроблено спеціальні методи обробки радіосигналів, які не погіршують точність вимірювань за нормальних умов, а за наявності

розладнань здатні гарантувати високу достовірність отриманих оцінок шляхом розширення функціональних можливостей класичних методів обробки сигналів.

4. Розроблено математичну модель динамічних змін у часі кутових координат ПС при виконанні посадкового маневру і на основі цієї моделі методом Калмана синтезовано оптимальну структуру пристрою оцінювання кутових координат, яка надалі буде слугувати у якості порівняльного еталону, математичну модель кутомірного сигналу, яка допускає наявність первинних вимірювань різної точності, причому розладнання що трапляються у радіовимірному каналі розглядаються як окремий випадок цієї моделі.

5. Розроблено спеціальні методи синтезу пристроїв обробки потоку первинних вимірювань кутових координат ПС різної складності та ефективності, яким притаманна підвищена стійкість до випадків порушень працездатності радіотехнічних засобів систем посадки.

6. Розроблено математичну модель процесу, яка описує динаміку розповсюдження аномальних похибок у дискретному фільтрі Калмана, обумовлених наявністю збоїв у роботі оперативної пам'яті.

7. Виконано аналіз чутливості вдосконалених методів дискретної фільтрації до можливих змін організаційної структури обчислювального процесу та короткочасних збоїв у роботі апаратних засобів.

8. Розроблено інженерну методику реалізації пристроїв обробки посадкових даних, на основі якої запропоновано структуру дискретного фільтра, що має рівномірний ступень захисту по відношенню до широкого спектру розладнань у кутомірній підсистемі.

РОЗДІЛ 1

МЕТОДИ ТА РЕЗЕРВИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ І ДОСТОВІРНОСТІ КУТОВИХ ВИМІРЮВАНЬ У РАДІОТЕХНІЧНИХ ЗАСОБАХ СИСТЕМ ПОСАДКИ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

1.1. Архітектура радіомаячних систем посадки за стандартом TRSB

На початку 80-х років експертам ІКАО з департаменту керування повітряним рухом (FAA) стало зрозуміло, що існуючі системи посадки метрового діапазону радіохвиль СП-50, СП-70, їх модифікації СП-50М, СП-68, СП-75, СП-85 (колишній СРСР), а також закордонні аналоги типу ILS (США, Західна Європа, Австралія та ін.) вичерпали свої потенційні можливості і не зможуть у перспективі належним чином виконувати притаманні їм функції через суттєві недоліки принципового характеру [4–9, 13]:

1. Використання нерухомих антен дозволяє виконувати посадку ПС по одній – фіксованій траєкторії, яка не є оптимальною для ПС інших категорій, наприклад, гелікоптерів та літаків з вертикальним зльотом і посадкою.

2. Невеликі розміри куткових секторів ($\pm 1^\circ$ у вертикальній та $\pm 4^\circ$ у горизонтальній площинах), у межах яких зберігається лінійна залежність між інформативним параметром радіосигналу та відхиленням ПС від номінальної траєкторії зниження.

3. Залежність параметрів каналів курсу та глісади від характеру місцевості навколо радіомаяків та метеорологічних умов, що особливо актуально для сучасних аеропортів з інтенсивним повітряним рухом, розташованих поблизу величезних мегаполісів з високим рівнем індустріальних перешкод природного або штучного походження.

4. Відносно невелика кількість частотних каналів – 40.

У квітні 1972 р. ІКАО прийняла рішення про розгортання пошукових робіт з метою створення стандарту системи посадки на перспективу після 2000 року. Вимогами ІКАО передбачалось [5–8, 13–14]:

1. Виділити новій системі діапазон робочих частот у межах 5,05...5,25 ГГц та 15,4...15,7 ГГц. У зв'язку з цим вона отримала

офіційну назву Microwave Landing System – система посадки сантиметрового діапазону.

2. Кутомірна частина повинна бути виконана у вигляді радіомаячної системи з вузькими в'ялоподібними променями, що рівномірно сканують у заданому кутовому секторі, а у далекомірній частині можливе використання модифікованого обладнання радіосистеми ближньої навігації VOR/DME.

3. За призначенням система MLS повинна забезпечувати на борту ПС отримання такої поточної інформації з одночасною подачею її екіпажу та у систему автоматичного керування польотом:

- у режимі заходу на посадку та в процесі її виконання: кутове положення ПС відносно повздовжньої осі злітно-посадкової смуги в горизонтальній площині (канал курсу); кутове положення ПС відносно повздовжньої осі злітно-посадкової смуги у вертикальній площині при зниженні (канал глісади); віддаль до точки приземлення; додаткову інформацію про стан злітно-посадкової смуги, категорію метеорологічних умов та системи розпізнавання типу наземного обладнання аеропорту тощо;

- у режимі зльоту або заходу на друге коло – зворотній курс повітряного судна та віддаль до злітно-посадкової смуги.

4. Нова система повинна відповідати певним вимогам безпеки польоту в процесі посадки (імовірність льотної пригоди не повинна перевищувати величини 10^{-7}) незалежно від класу ПС, у тому числі з вертикальним зльотом та посадкою за метеорологічних умов I, II та III категорій.

5. Кутомірна та далекомірна інформації, практично, не повинні залежати від зовнішніх умов (рельєфу навколишньої місцевості, службових споруд аеропорту та ін.) і режимів польоту ПС при швидкості не більшій, ніж 370 км /год., кута нахилу не більшого за 40° та кута тангажу від -10° до $+25^\circ$.

6. Можливість формування криволінійних посадкових траєкторій з метою підвищення пропускної здатності та зниження рівня індустріальних шумів.

7. Відкритість архітектури та модульність конструктивного виконання з єдиним форматом радіосигналу для різних типів ПС та класів аеропортів.

У процесі пошукових робіт прийняли участь ведучі індустріально розвинені країни: колишній СРСР [10–11], Великобританія, Франція, США, Німеччина, Австралія та частково Нова Зеландія [6–8, 13, 49–50], зусиллями яких було запропоновано два можливі варіанти побудови перспективної посадочної системи сантиметрового діапазону:

1. Система TRSB, що базується на використанні часового способу кодування інформації про кутову координату.

2. Система DMLS, що базується на використанні доплерівського зсуву частоти, пропорційного вимірюваній кутовій координаті.

Навесні 1978 р. система TRSB отримала міжнародний статус і фактично стала стандартом ІКАО. Як видно з рис. 1.1 новітній стандарт має кращі тактичні можливості порівняно з СП-50, СП-70 та ILS, тому що дозволяє різноманітним ПС наблизитись до злітно-посадкової смуги з різних напрямків та з різними швидкостями.

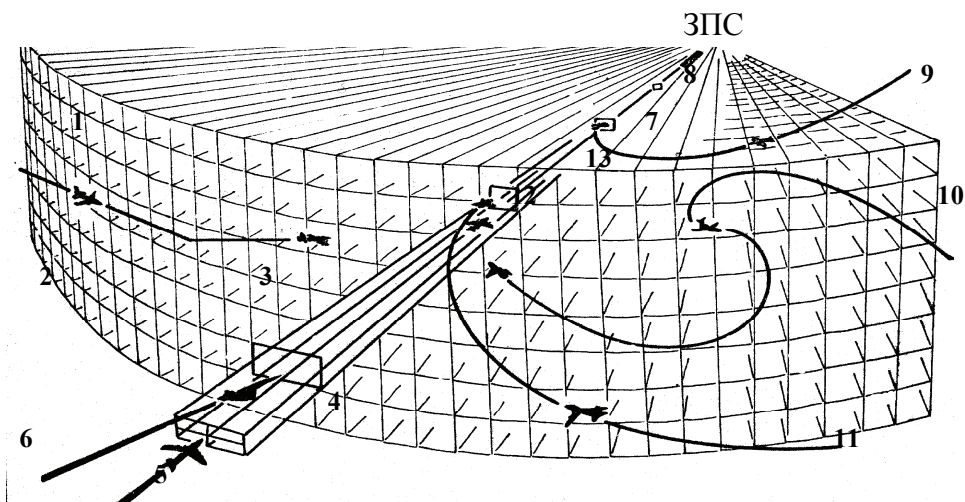


Рис. 1.1. Тактичні можливості системи TRSB:

1 – захід на посадку по «ломаній» траєкторії; 2 – зона дії системи; 3 – «вікно» для швидкісних ПС; 4 – система посадки СП-70; 5 – захід на посадку у системі СП-70; 6 – захід на посадку високошвидкісного ПС; 7 – «вікно» для низькошвидкісних ПС; 8 – маркерний радіомаяк; 9 – у зоні дії система TRSB дозволяє визначати віддаль до початку ЗПС; 10 – захід на посадку по подовженій криволінійній траєкторії; 11 – захід на посадку по криволінійній траєкторії; 12 – маркерний радіомаяк; 13 – «вікно» для середньо-швидкісних ПС

При цьому захід на посадку може виконуватись за довільними траєкторіями у напрямку одного з трьох «вікон електронного коридо-

ру» для низько-середніх та високошвидкісних ПС. Тут підвищена точність та достовірність навігаційних даних забезпечується новим принципом отримання кутових координат на борту ПС, надмірністю формату радіосигналу та можливістю використання в бортовому вимірювачі сучасних мікропроцесорних засобів. Модульний принцип побудови в залежності від категорії аеропорту дозволяє реалізовувати три варіанти розгортання системи: основний, спрощений та розширений. Зокрема, на рис. 1.2 показаний стандарт розширеного варіанту розгортання радіотехнічних засобів на місцевості [9–11, 13].

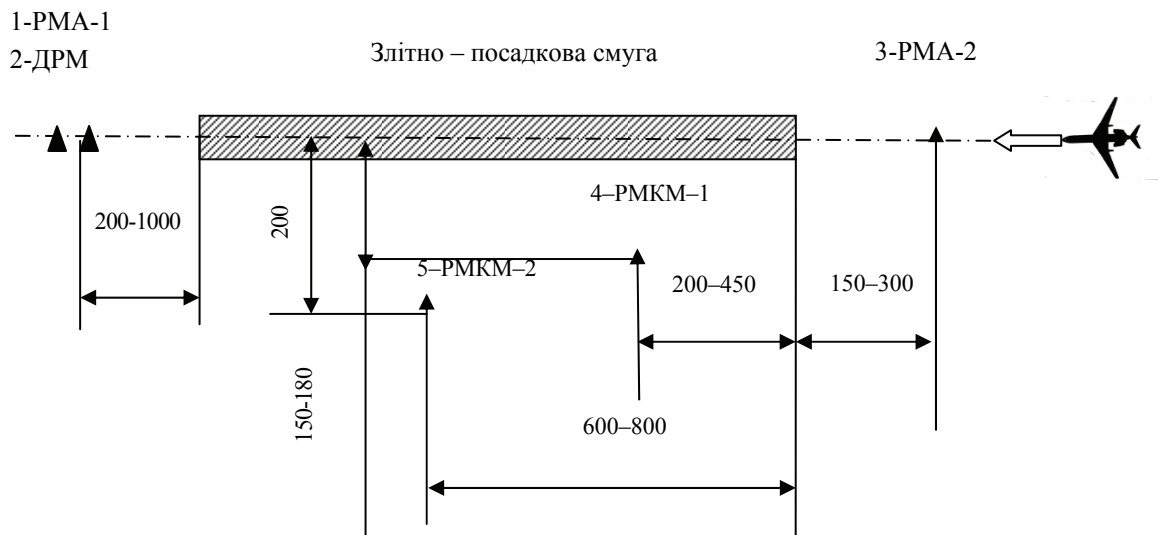


Рис. 1.2. Стандарт розгортання на місцевості розширеного комплексу TRSB:

1 – азимутальний радіомаяк РМА-1 для заходу на посадку; 2 – далекомірний маяк ДРМ для заходу на посадку; 3 – азимутальний радіомаяк РМА-2 для зльоту та заходу на друге коло; 4 – радіомаяк кута місця РМКМ-1 для заходу на посадку; 5 – радіомаяк кута місця РМКМ-2 для вирівнювання ПС

Примітка. Віддалі подано у метрах.

Стандартом передбачено такі технічні характеристики системи TRSB [12, 14–16, 51, 65]:

1. Зона дії:

- область з курсом посадки, обмежена кутом відносно осі ЗПС
 - у горизонтальній площині, град..... ±40
 - у вертикальній площині, град..... 15

віддалю, км	37
- область, яка включає ЗПС і обмежена	
у горизонтальній площині віддалю від осі ЗПС, м	±45
у вертикальній площині висотою над ЗПС, м	600
- область зі зворотним курсом, обмежена	
у горизонтальній площині кутом, град.....	±20
у вертикальній площині висотою над ЗПС, м	1500
віддалю, км	9
2. Похибки каналів системи (2σ) :	
- азимутального каналу, град	0,05
- каналу кута місця при зниженні та	
вирівнюванні, град.	0,05
- далекомірного каналу, м	30
3. Пропускна здатність (кількість одночасного	
обслуговування ПС).....	200
4. Частота оновлення кутомірної інформації, Гц :	
- азимутального каналу.....	13,5
- каналу кута місця при зниженні.....	40,5
- каналу кута місця при вирівнюванні	40,5
5. Частотний діапазон, ГГц :	
- основних радіомаяків та високоточної	
далекомірної системи.....	5
- можливого (у перспективі) каналу кута місця при	
вирівнюванні та далекомірної підсистеми.....	1

Формат сигналу системи TRSB (рис. 1.3) [14, 65] при передачі інформації використовує принцип часового ущільнення, що дозволяє зменшити відведену смугу частот, але взамін потребує жорсткої синхронізації функцій, що виконуються бортовим та наземним обладнанням. Основний цикл системи – 592 мс розбито на вісім підциклів по 64 мс кожен. Порядок підциклів та захисні часові проміжки між ними можливо змінювати для зменшення впливу синхронних перешкод. Формат усіх виконуваних кутових функцій однаковий і складається з інформації, яку подано на рис. 1.4. До складу бортового обладнання входять апаратура далекомірної підсистеми VOR/DME у модернізованому варіанті DME/P та апаратура кутомірної підсистеми. Вимірювання віддалі у далекомірній підсистемі побудовано за принципом «запит – відповідь» [12, 51]. Бортове обладнання кутової підсистеми спільне для усіх кутових функцій, що виконуються. Визначення куто-

вих координат побудовано на вимірюванні часового інтервалу між характерними точками сигнальних імпульсів «туди – назад» і показано на рис. 1.5. Детальніше цифровий варіант бортового вимірювача кутових координат ПС буде розглянуто далі в зв'язку з аналізом інструментальної точності.

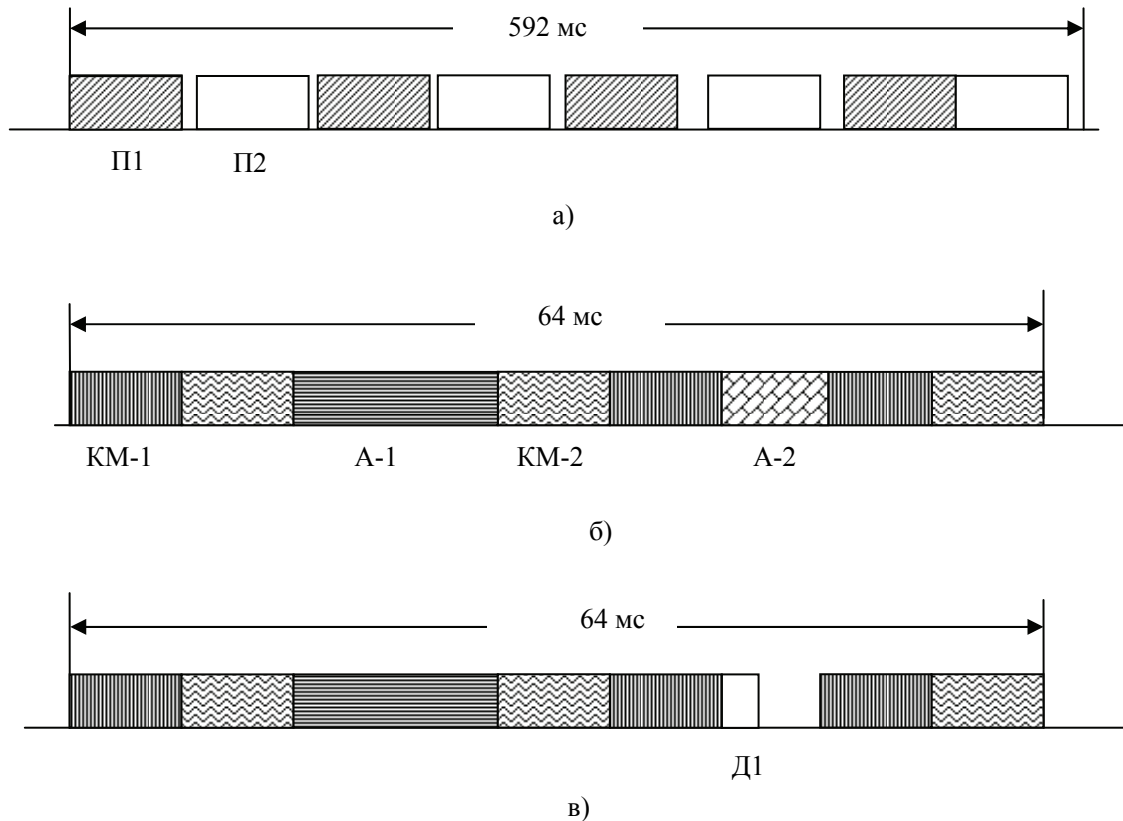


Рис. 1.3. Формат радіосигналу системи TRSB:

а) повний цикл роботи системи; б) послідовність кутових функцій у підциклі П1: КМ-1 – вимірювання кута місця при зниженні; КМ-2 – вимірювання кута місця при вирівнюванні; А-1 – вимірювання азимуту при заході на посадку; А-2 – вимірювання азимуту при відході на друге коло; в) послідовність кутових функцій у підциклі П2: операції підциклів П1 та П2, що збігаються, однаково заштриховані); Д1 – додаткова інформація

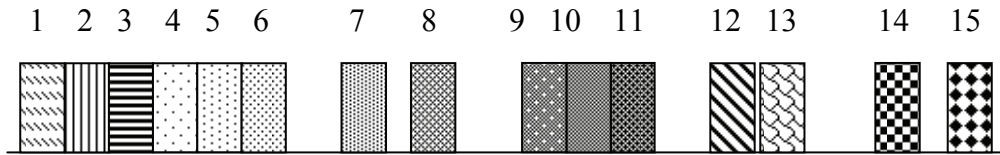


Рис. 1.4. Послідовність інформаційних імпульсів у форматі радіосигналу кутової функції:

1 – сигнал преамбули для ФАПЧ; 2 – код Баркера; 3 – код упізнання кутової функції; 4 – вибір масштабу по азимуту; 5 – сигнал вибору антени; 6 – мінімальний кут нахилу глісади; 7 – летіти «правіше»; 8 – летіти «лівіше»; 9, 10, 11 – сигнали пригнічення бокових пелюсток: задній, лівий, правий, відповідно; 12 – контрольний сигнал «туди»; 13 – кутовий сигнальний імпульс «туди»; 14 – кутовий сигнальний імпульс «назад»; 15 – контрольний сигнал «назад».

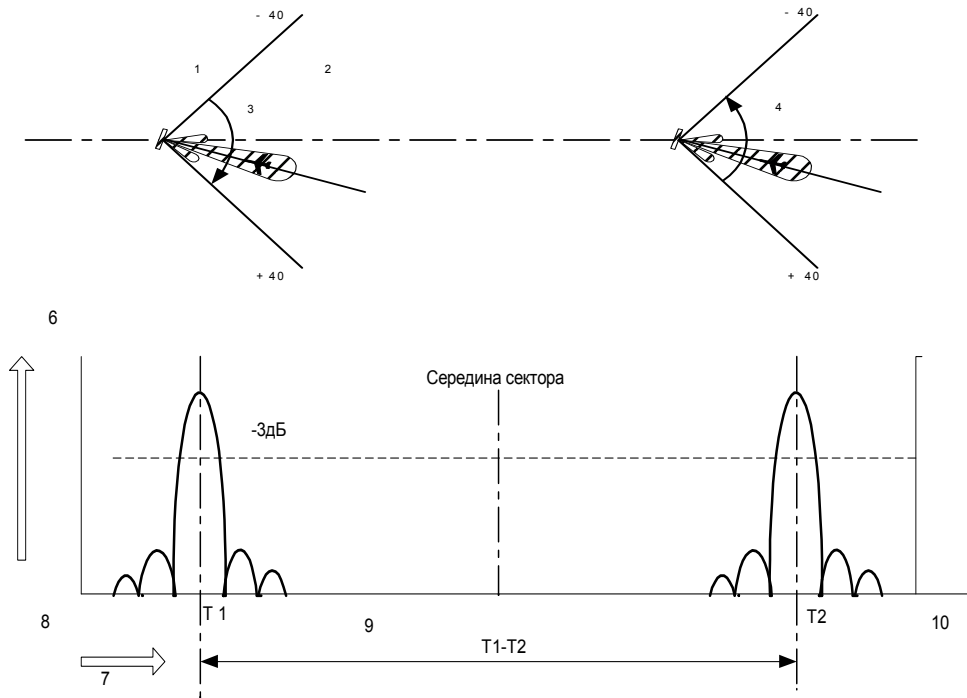


Рис. 1.5. Принцип визначення кутових координат повітряного судна у системі посадки сантиметрового діапазону:

1 – азимутальна антена; 2 – осьова лінія ЗПС; 3 – сканування «туди»; 4 – сканування «назад»; 5 – сигнальні імпульси; 6 – поріг вимірювання -3дБ; 7 – час, мс; 8 – початок сканування «туди»; 9 – кутове положення повітряного судна пропорційне результату вимірювання часової різниці $T_1 - T_2$; 10 – кінець сканування «назад».

1.2. Структура бортових радіотехнічних засобів систем посадки

Виконавчий комітет ІСАО вимагає від користувачів системи посадки за стандартом TRSB суворого дотримання вимог щодо складу наземного та бортового радіообладнання, комплектності, схеми розгортання на місцевості, формату радіосигналу, принципів отримання кутової інформації на борту повітряного судна, забезпечення регламентованих тактико-технічних характеристик. В той же час питання способів технічної реалізації вимог стандарту TRSB носять рекомендаційний характер. Так на момент затвердження стандарту, документи ІСАО [6–7] звертали увагу на доцільність побудови бортового радіообладнання кутомірної підсистеми за схемою, яка показана на рис. 1.6. До складу цієї структури входять: блок антенних пристроїв 1, лінійна частина радіоприймального блоку кутомірної підсистеми 2, пульт керування 3, цифровий блок виділення кутової інформації 4, блок цифрової обробки кутової інформації 5, інтерфейс 6, блоки зовнішніх пристроїв 7–9, блок виділення даних 10. Взаємодія основних блоків та їх складових частин полягає у такому.

Антени приймають сигнали кутових радіомаяків при знаходженні ПС у будь-якій точці зони дії посадкової системи. Для цього використовуються три-чотири антени, які розташовують, як правило, у носовій та хвостовій частинах корпусу ПС. Через схему вибору антени 1-3 з приймачем з'єднується та антена, яка приймає максимальний сигнал. Пристрої попереднього перетворення та підсилення 1-1, 1-2 використовуються лише у тих випадках, коли умови прийому радіосигналів та їх згасання у антенно-фідерному тракті суттєво позначаються на дальності дії кутомірної підсистеми. Типовими елементами цих пристроїв є смуговий фільтр, змішувач, синтезатор частот, помножувач частоти та широкосмуговий підсилувач. Радіочастотна частина приймального пристрою виконує основні функції щодо підсилення та виділення радіосигналів і побудована за класичною схемою супергетеродинного прийому з використанням фазового автопідстроювання частоти – ФАПЧ.

A1- A2

A3-A4

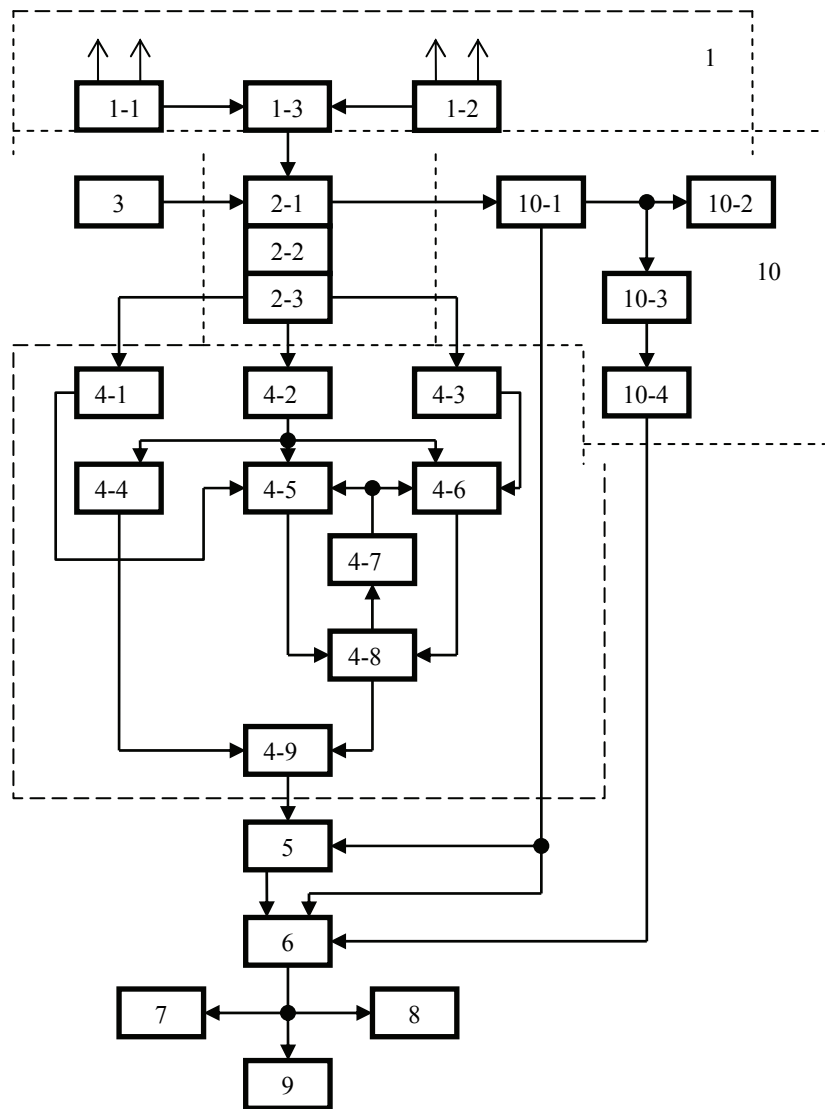


Рис.1.6. Структурна схема бортового кутомірного каналу :

1 – блок антенних пристроїв: A1-A4 – бортові антени; 1-1, 1-2 – пристрої попереднього перетворення та підсилення; 1-3 – схема вибору антени; 2 – радіоприймальний блок: 2-1 – лінійна частина радіоприймача; 2-2 – логарифмічний підсилювач проміжної частоти; 2-3 – детектор; 3 – пульт керування; 4 – цифровий блок виділення кутової інформації: 4-1, 4-3 – пристрої диференціювання; 4-2 – АЦП; 4-4 – формувач опорного сигналу; 4-5, 4-6 – пікові детектори; 4-7 – генератор строб – імпульсів; 4-8 – пристрій об'єднання сигналів; 4-9 – компаратор; 5 – блок цифрової обробки кутової інформації, 6 – інтерфейс; 7 – САУ; 8 – блок індикаторів; 9 – ПНК; 10 – блок виділення даних: 10-1 – дешифратор преамбули; 10-2 – схема контролю основних даних; 10-3 – схема контролю допоміжних даних; 10-4 – декодер

Тут також виконується демодуляція основних та допоміжних даних, що передаються за допомогою диференціальної фазової маніпуляції. Застосування логарифмічних підсилювачів проміжної частоти вирішує проблему динамічного діапазону вхідних радіосигналів.

Основним елементом бортового радіообладнання системи посадки за стандартом TRSB є тракт цифрової обробки сигналів кутових радіомаяків. До його складу входять: цифровий блок виділення кутової інформації 4, блок цифрової обробки кутової інформації 5 та блок виділення посадкових даних 10. Основні функції тракту обробки радіосигналів кутових радіомаяків полягають у декодуванні кутових даних та виробленні цифрових сигналів, які характеризують відхилення ПС від заданої траєкторії. На початковій стадії процесу обробки сигналів кутових радіомаяків формуються імпульси, які фіксують часове положення характерних точок кутового сигнального імпульсу на рівні – 3дБ від максимального значення. Для цього використовуються пікові детектори 4-5, 4-6, на входи яких надходять кутові сигнальні імпульси після детектування 2-3 та аналогово-цифрового перетворення 4-2. Пікові детектори 4-5, 4-6 відкриваються селекторними імпульсами 4-7, часове положення яких відповідає моменту очікуваного надходження кутових сигнальних імпульсів. Окрім того, для профілактики проникнення на вхід пристрою обробки короткочасних імпульсних завад великої потужності пікові детектори додатково стробуються імпульсами з виходів диференціальних пристроїв 4-1, 4-3, які блокують виходи пікових детекторів у тому разі, коли швидкість зміни напруги завади перевищує задану величину. У разі появи сигналів дозволу на всіх входах пікових детекторів виконується операція, яка полягає у порівнянні прийнятого кутового сигналу з сигналом, що зберігався з попереднього циклу роботи. Мета цього порівняння полягає у визначенні сигналу з максимальним рівнем, який надалі буде використовуватись у якості опорного для наступного циклу роботи. Після схеми об'єднання сигналів з пікових детекторів надходять до схеми формування упереджених строб-імпульсів 4-7 і компаратора. На інший вхід компаратора потрапляє напруга опорного сигналу, яка більша від напруги кутових сигнальних імпульсів на 3 дБ і аналогічна за формою. Порівнянням

ЛІТЕРАТУРА

1. Новожилов Г. В. Безопасность полета самолета. Концепция и технология / Г. В. Новожилов. – М. : Машиностроение, 2003. – 144 с.
2. Пергл Г. Императив безопасности в воздухе. Тематический выпуск – 75 лет гражданской авиации / Г. Пергл // Америка. – 1978. – № 265. – 117 с.
3. Доклады о состоянии безопасности полетов в гражданской авиации: Состояние безопасности полетов в гражданской авиации государств – участников соглашения в 2004 г. и за период 2000 – 2004 гг. [Электронный ресурс] / Межгосударственный Авиационный Комитет. Режим доступа до інформації: <http://www.mak.ru/russion/russion/html>.
4. O'keeffe H. B. The development of interscan – a new microwave approach and landing guarantee system for International Civil Aviation / H. B. O'keeffe, W. G. Feige // Proc. of IREE. – 1975. – Vol. 36. – P. 145–148.
5. Sanders L. Instrument Landing System / L. Sanders, V. Fritch, Ir. John // IEEE Trans. on Com. – 1973. – Vol. 21. – № 5. – P. 435–454.
6. Time Reference Scanning Beam Microwave Landing System. A New Non-Visual Precision Approach and Landing Guidance System for International Civil Aviation, New-York, FAA, December, Working Group Seventh Meeting – London.
7. AWOP, Working Group Seventh Meeting – London, Nov. 2 – 12, 1976, AWOP Assessment of New Guidance Systems.
8. О ходе разработки микроволновой системы посадки по приборам. [Краткий обзор // Радиоэлектроника за рубежом]. – М., 1975. – вып. 17 – 46 с.
9. Шестакова Н. А. СВЧ система инструментальной посадки самолетов. Реферат / Н. А. Шестакова // Зарубежная радиоэлектроника. – 1972. – № 11. – С. 5–21.

10. Единая Государственная Радиотехническая Система Посадки «Плацдарм». [Эскизный проект / ВНИИРА, ЕУІ.242.252Э]. – Л, 1978. – 217 с.
11. Единая Государственная Радиотехническая Система Посадки «Плацдарм». Бортовое оборудование. [Технический проект. / ВНИИ-РА, ЕУІ.241.252. ПЗ]. – Л, 1979. – 183 с.
12. Сантиметровые системы посадки самолетов / [В. М. Бенин, Е. И. Шолупов, В. А. Кожевников, И. А. Хаймович]. – М. : Машино-строение, 1985. – 224 с.
13. Sanders L. L. The multipart challenge for microwave landing system / L. L. Sanders // Coll. Int. Electron at aviate civ.– Paris. 1972. – Vol. 2. – P. 976–986.
14. Спецификация формата сигнала для системы сканирующего луча с отсчетом времени. Signal format specification for the time reference scanning beam / [Материалы FAA]. – 1975. – P. 233–261.
15. Олянюк П. В. Радионавигационные устройства и системы гражданской авиации / П. В. Олянюк. – М. : Транспорт, 1993. – 320 с.
16. Семенов А. А. Радионавигационные системы аэропортов. Радиомаячные системы посадки. / А. А. Семенов, В. Г. Мелкунин – К. : КМУГА, 1999. – 100 с.
17. Верещака А. И. Авиационное радиооборудование. / А. И. Верещака. – М. : Транспорт, 1996. – 344 с.
18. Тучков Н. Т. Автоматизированные системы и радиоэлектронные средства управления воздушным движением / Н. Т. Тучков – М. : Транспорт, 1994.– 368 с.
19. Аникин А. М. Воздушная навигация и аэронавигационное обеспечение полетов / А. М. Аникин. – М. : Транспорт, 1994. – 295 с.
20. Системы фазовой синхронизации с элементами дискретизации / Под ред. В. В. Шахгильдяна. – М. : Радио и связь, 1989. – 247 с.
21. Келин Т. Характеристики цифровой системы фазовой автоподстройки частоты / Т. Келин, Д. Супонников // Chip news Украины. Инженерная микроэлектроника. – К. : 2002. – № 9. – С. 11–14.

22. Бондарев А. П. Критерій граничної завадостійкості системи фазової синхронізації / А. П. Бондарев, О. В. Капшій // Вісник ДУ «ЛП». Радіоелектроніка і телекомунікації. – 1998. – № 352. – С. 28–30.
23. Бондарев А. П. Статистичний зміст шумової смуги захоплення ФАПЧ / А. П. Бондарев // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання ім. Г. Є. Пухова. – 2005. – Вип.29. – С. 128–132.
24. Ярлыков М. С. Применение марковской теории нелинейной фильтрации в радиотехнике / М. С. Ярлыков. – М. : Сов. радио, 1980. – 360 с.
25. Ярлыков М. С. Статистическая теория радионавигации. / М. С. Ярлыков. – М. : Радио и связь, 1985. – 344 с.
26. Сейдж Э. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Э. Сейдж, Дж. Мелс.; пер. с англ.; под ред. Б. Р. Левина. – М. : Связь, 1976. – 496 с.
27. Стратонович Р. Л. Принципы адаптивного приема / Р. Л. Стратонович. – М. : Сов. радио, 1973. – 140 с.
28. Тихонов В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. – М. : Радио и связь, 1991. – 608 с.
29. Саридис Дж. Самоорганизующиеся стохастические системы управления / Дж. Саридис; под ред. Я. З. Цыпкина. – М. : Наука, 1980. – 400 с.
30. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции / Г. Ван Трис; пер. с англ.; под ред. В. И. Тихонова. Т.1. – М. : Сов. радио, 1972. – 744 с.
31. Nahi N. E. Optimal Recursive Estimation With Uncertain Observation / N. E. Nahi // IEEE Trans. Inform. Theory. – 1969. –Vol. – IT – 15, № 4 – P. 457–462.
32. Lainiotis D. G. On joint, detection, estimation and system identification: discrete data case / D. G. Lainiotis, S. K. Park // Int. J. Cont. – 1973. –Vol.17, № 13. – P. 609–633.

33. Joffer A. G. Recursive Bayesian Estimation With Uncertain Observation / A. G. Joffer, S. C. Gupta // IEEE Trans. Inform. Theory. – 1971. – Vol. IT – 17, № 9. – P. 614–616.
34. Lainiotis D. G. Optimal Adaptive Estimation, Structure and Parameters Adaptation / D. G. Lainiotis // IEEE Trans. Automat. Contr. – 1971. – Vol. AC –16, № 2. – P. 160–170.
35. Chang C. B. State Estimation for Discrete System With Switching Parameters / C. B. Chang, M. Athans // IEEE Trans. On Aerospace and Electronic System. – 1978. – Vol. 14, № 13. – P. 418–425.
36. Казаков И. Е. Оптимизация динамических систем случайной структуры / И. Е. Казаков, В. М. Артемьев. – М. : Наука, 1980. – 384 с.
37. Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем / М. Бассвиль, А. Вилски, А. Банвентист; под ред. М. Бассвиль, А. Банвентиста. – М. : Мир, 1989. – 224 с.
38. Корнильев Э. А. Устойчивые алгоритмы в автоматизированных системах обработки информации / Э. А. Корнильев, И. Г. Прокопенко, В. М. Чуприн. – К. : Техніка, 1989. – 224 с.
39. Савчук В. П. Байесовские методы статистического оценивания: Надежность технических объектов / В. П. Савчук. – М. : Наука, 1989. – 328 с.
40. Миттл Р. Дж. Статистический анализ данных с пропусками / Р. Дж. Миттл, Д. Б. Рубин; пер с англ. А. М. Никифорова. – М. : Финансы и статистика, 1991. – 336 с.
41. Дмитриев С. П. Информационная надежность, контроль и диагностика навигационных систем. / С. П. Дмитриев. – СПб. : Политехника, 2004. – 202 с.
42. Хопкинс А. Л. Высоконадежный отказоустойчивый мульти-процессор для управления самолетом / А. Л. Хопкинс, Т. Б. Смит, ДЖ. Лала // ТИИЭР. – 1976. – Т.66, № 10. – С.142–165.
43. Авиженис А. Отказоустойчивость – свойство, обеспечивающее постоянную работоспособность цифровых систем / А. Авиженис // ТИИЭР. – 1978. – Т. 66, № 10. – С. 5–25.

44. Казаков И. Е. Анализ стохастических систем в пространстве состояний / И. Е. Казаков, С. В. Мальчиков. – М. : Наука, 1983. – 416 с.

45. Якупов Р. Т. Субоптимальная обработка выходов измерительных модулей дискретной динамической системы со взвешиванием коэффициентов фильтров / Р. Т. Якупов, С. П. Моисеева, Д. Г. Шайдеман // Изв. вузов. Физика. – 2004. – Т.5, № 2. – С. 32–34.

46. Verhaegen M. H. Numerical Aspects of Different Kalman Filter Implementations / M. H. Verhaegen, P. Van Dooren // IEE Trans. Autom. Contr. –1986. – Vol. AC, № 31. – P. 907–917.

47. Hajiev G. Fault diagnosis and reconfiguration in flight control Systems / G. Hajiev, F. Calliskan. – Boston. : Kluwer Academic Publishes, 2003. – 339 p.

48. Пат. U2005 10483 Україна, МПК G01s1/ 08, G01s3/66. Пристрій для обробки кутової інформації у радіотехнічній системі посадки сантиметрового діапазону / Воловик А. Ю., Воловик Ю. М., Кичак В. М., Шутило М. А.; заявл. 23.11.2005; опубл. 17.04.2006; Бюл. № 4, 2006. – 6 с.

49. Flight International. – 1975. – Vol. 108, № 3463. – P. 131–132.

50. Flight International. – 1976. –Vol. 109, № 3509. – P. 1567–1568.

51. Сосновский А. А. Авиационная радионавигация. Справочник / А. А. Сосновский, И. А. Хаймович. – М. : Транспорт, 1980. – 255 с.

52. Бартон Д. Справочник по радиолокационным измерениям. / Д. Бартон, Г. Бард. ; пер с англ.; под ред. М. М. Байсбейна. – М. : Сов. радио, 1976. – 392 с.

53. Поиск, обнаружение и измерение параметров сигналов в радионавигационных системах / В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов, Ю. А. Коломенский.; под ред. Ю. М. Казаринова. – М. : Сов. радио, 1975. – 273 с.

54. Первачев С. В. Статистическая динамика радиотехнических следящих систем / С. В. Первачев, А. А. Валуев, В. М. Чиликин. – М. : Сов. радио, 1973. – 488 с.

55. Браммер К. Фильтр Калмана-Бьюси / К. Браммер, Г. Зиффлинг.; пер с нем. В. Б. Колмановского.; под ред. И. Е. Казакова. – М. : Наука, 1982. – 200 с.
56. Стратонович Р. Л. Условные марковские процессы / Р. Л. Стратонович. – М. : МГ, 1966. – 319 с.
57. Тихонов В. И. Нелинейная фильтрация и квазикогерентный прием сигналов / В. И. Тихонов, Н. К. Кульман. – М. : Сов. радио, 1975. – 704 с.
58. Kalman R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems / R. E. Kalman // Trans. ASME, J. Basic Eng. – 1960. – Vol. 82 D. – P. 34–45.
59. Bucy R. S. Nonlinear Filtering Theory / R. S. Bucy // IEEE Tans. on Autom. Control. – 1965. – Vol. AC –10. – P. 198–204.
60. Калман Р. Е, Бьюси Р. С. Новые результаты в линейной фильтрации и теории предсказания / Р. Е. Калман, Р. С. Бьюси // Техническая механика. –1961, Сер. Д. – 83 с.
61. Kushner H. J. On the differential equations satisfied by conditional probability densities of MARCOV processes, with applications / H. J. Kushner // J. SIAM Control, Ser. A. – 1964. – Vol. 2. – P.106–119.
62. Тихонов В. И., Миронов М. Ф. Марковские процессы / В. И. Тихонов, М. Ф. Миронов. – М. : Сов. Радио, 1977. – 488 с.
63. Оцінка сукупного впливу хаотичних імпульсних перешкод та флуктуаційного шуму на точність первинних спостережень / [Ю. М. Воловик, В. В. Логвиненко, М. А. Шутило, А. Ю. Воловик]. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2006. – Т.1–№ 3. – С.192 –195.
64. Росин М. Ф. Статистическая динамика и теория эффективности систем управления / М. Ф. Росин, В. С. Булыгин. – М. : Машиностроение, 1981. – 312 с.
65. Сосновский А. А. Радиоэлектронное оборудование летательных аппаратов. Справочник / А. А. Сосновский, И. А. Хаймович. – М. : Машиностроение, 1987. – 256с.

66. Аналіз характеристик процедури контролю достовірності кутової інформації у радіомаячній системі посадки сантиметрового діапазону / [Ю. М. Воловик, В. В. Логвиненко, М. А. Шутило, А. Ю. Воловик]. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2006. – Т. 1, № 2. – С. 151–155.

67. Фолкенберри Л. М. Справочное пособие по ремонту электрических и электронных систем / Л. М. Фолкенберри.; пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 416 с.

68. Воловик А. Ю. Оцінювання характеристик функціональної надійності фазового каналу синхронізації в системі посадки сантиметрового діапазону / А. Ю. Воловик, Ю. М. Воловик // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007. – № 1. – С. 151–154.

69. Пат. 3866163 США, МКИ G01s 1/ 18. Устройство обработки угловой информации в системах с узкими сканирующими лучами. Заявл. 02.07.73.; опубл. 11.02.75. – 5 с.

70. Воробьев В. Г. Автоматическое управление полетом самолетов / В. Г. Воробьев. – М. : Транспорт, 1995. – 448 с.

71. Федоров С. М. Бортовые информационно – управляющие системы / С. М. Федоров. – М. : Транспорт, 1994. – 294 с.

72. Жуков А. Я. Динамика полета транспортных летательных аппаратов / А. Я. Жуков. – М. : Транспорт, 1996. – 326 с.

73. Моделирование в радиолокации / Под ред. А. И. Леонова. – М. : Сов. радио, 1979. – 264 с.

74. Зингер Р. А. Оценка характеристик оптимального фильтра для слежения за пилотируемой целью / Р. А. Зингер // Зарубежная радиоэлектроника. 1971. – № 8. – С. 28–5.

75. Зингер Р. А. Оценка характеристик и выбор фильтров сопровождения в реальном масштабе времени для тактических систем вооружения / Р. А. Зингер, М. С. Бенке // Зарубежная радиоэлектроника. – 1971. – № 1. – С. 17–26.

76. Хэтвилд Дж. Субоптимальная линейная фильтрация с ограниченным состоянием / Дж. Хэтвилд, Д. Рокуэл, Р. Абрамсон // Ракетная техника и космонавтика. – 1971. – Т. 9, № 4. – С. 56–63.
77. Игнатов А. А. Применение субоптимальных алгоритмов в бортовых навигационных комплексах / А. А. Игнатов, Н В. Макарова // Вопросы радиоэлектроники. – 1977. – Сер. ОТ, вып. 3. – С. 62–69.
78. Розов А. К. Стохастические дифференциальные уравнения и их применение / А. К. Розов. – СПб. : Политехника, 2005. – 304 с.
79. Розов А. К. Обнаружение, классификация и оценивание сигналов / А. К. Розов. – СПб.: Политехника, 2001. – 248 с.
80. Розов А. К. Нелинейная фильтрация сигналов / А. К. Розов. – СПб.: Политехника, 2002. – 372 с.
81. Пузанков Д. В. Микропроцессорные системы / Д. В. Пузанков. – СПб.: Политехника, 2002. – 935 с.
82. Глухов В. В. Техническое диагностирование динамических систем / В. В. Глухов – М. : Транспорт, 2000. – 96 с.
83. Куприянов М. С. Цифровая обработка сигналов. Процессоры. Алгоритмы. Средства проектирования / М. С. Куприянов, Б. Д. Матюшкин. – СПб.: Политехника, 2000. – 592 с.
84. Бондарев В. Цифровая обработка сигналов. Методы и средства / В. Бондарев, Г. Трестер, В. Чернета – Севастополь, Сев. ГТУ, 1999. – 398 с.
85. Айфичер Э. Цифровая обработка сигналов. Практический подход / Э. Айфичер, Б. Джервис.; пер с англ. – М. : Вильямс, 2004. – 992 с.
86. Погребинский С. Б. Проектирование и надежность многофункциональных ЭВМ / С. Б. Погребинский, В. П. Стрельников. – М. : Радио и связь, 1988. –165 с.
87. Frank P. M. Fault diagnosis in dynamical systems using analytical and knowledge – based redundancy. A survey and new results / P. M. Frank // Automatica. –1990. – Vol. 26 – № 3. – P. 459–474.

88. Gadzhiev Ch. M. Dynamic system diagnosis based on Kalman filter updating sequences / Ch. M. Gadzhiev // Automation and Remote Control. – 1992. – № 1. – P. 147–50.

89. Rigins R. N. Designed inputs for detection and isolation of failures in the state transition matrices of dynamic systems / R. N. Rigins, W. B. Ribbens // IEEE Trans. on Contr. Sys. Technology. – 1997. – Vol. 5 – № 2. – P. 143–162.

90. Hajiyev Ch. M. Approach to fault detection in Kalman filter based on spectral norm of innovation matrix / Ch. M. Hajiyev // Proc. Of International Conference

System Identification and Control Problems. – Moscow, 2000. – P. 1077–1085.

91. Hajiyev Ch. M. Fault detection in multidimensional systems based on statistical analysis of Kalman filter / Ch. M. Hajiyev // IFAC Symposium on Fault Detection Supervision and Safety for Technical Processes, SAFERPROCESS. – Helsinki, 1994. – Vol. 1. – P. 45–49.

92. Caliskan F. Sensor/actuator fault diagnosis on statistical analysis of innovation sequence and Robust Kalman Filtering / F. Caliskan, Ch. M. Hajiyev // Aerospace. Science and Technology. – 2000. – № 4. – P. 415–422.

93. Gadzhiev Ch. M. Simplified Filtering Algorithm in the presence of Fault in the Measurement Channel / Ch. M. Hajiyev // Measurement Techniques. – 1989,– Vol.32 – № 6. – P. 5057–5071.

94. Gadzhiev Ch. M. A New Method of Kalman Filter Innovation Sequence

Statistical Characteristics Checking / Ch. M. Hajiyev // Engineering Simulation. – 1996. – № 1. – P. 83–91.

95. Patton R. J. Fault tolerant control: The 1997 situation / R. J. Patton // IFAC Symposium on Fault Detection Supervision and Safety for Technical Processes, SAFER PROCESS'97'. – Hull, UK, 1997. – P. 1033–1055.

96. Гришин Ю. П. Динамические системы устойчивые к отказам / Ю. П. Гришин, Ю. М. Казаринов. – М. : Радио и связь, 1985. – 176 с.

97. Трифонов А. П. Оценка параметров случайного сигнала при наличии помех с неизвестными параметрами / А. П. Трифонов, А. А. Глазьев // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 2003. – Т.46 – № 10. – С. 3–10.

98. Харисов В. Н. Алгоритмы автономного контроля целостности спутниковой радионавигационной системы при однократных измерениях / В. Н. Харисов // Радиотехника. – 1998. – № 3. – С. 85–90.

99. Харисов В. Н. Методы нелинейной фильтрации в задаче обнаружения отказов в спутниковых радионавигационных системах / В. Н. Харисов // Радиотехника. – 1996. – № 7. – С. 59–64.

100. Заде Л. Теория линейных систем. Метод пространства состояний / Л. Заде, Ч. Дезоер. – М. : Наука, 1970. – 704 с.

101. Вовк А. И. Совместное обнаружение и оценивание изменений параметров гауссовских марковских последовательностей / А. И. Вовк, Ю. П. Гришин // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 1990. – Т. 33 – № 1. – С. 56–62.

102. Гуров И. П. Анализ и оптимизация вычислительного процесса нелинейной дискретной фильтрации Калмана / И. П. Гуров, А. С. Захаров, М. А. Таратин // Изв. вузов. Приборостроение. – 2004. – № 8. – С. 42–48.

103. Дмитриев С. П. Фильтрованный подход в задаче контроля целостности спутниковой радионавигационной системы / С. П. Дмитриев, А. В. Осипов // Радиотехника. – 2002. – № 1. – С. 9–47.

104. Елисеев А. В. Алгоритм линейной фильтрации, устойчивый к сингулярным ошибкам / А. В. Елисеев // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 2005. – Т. 48, – № 10. – С. 20–29.

105. Крот А. М. Теория анализа и синтеза бэнк – фильтров и их применение / А. М. Крот, В. О. Кудрявцев // Зарубежная радиоэлектроника. – 1999. – № 2. – С. 3–17.

106. Тихонов В. А. Распознавание негауссовских процессов при наличии неаддитивных помех / В. А. Тихонов, К. В. Нетребенко // Радиотехника. – 2006. – № 45. – С. 163–166.

107. Перов А. И. Уменьшение вычислительной сложности алгоритмов в приемниках спутниковых радионавигационных систем на основе калмановско – винеровской фильтрации / А. И. Перов, В. Н. Харисов // Радиотехника. – 1996. – № 1. – С. 120–125.

108. Скляревич А. Н. Линейные системы с возможными нарушениями / А. Н. Скляревич, Ф. А. Скляревич. – Рига. : Зинатне, 1985. – 296 с.

109. Парфенов В. Н. Эффективная обработка стохастических сигналов с однократными изменениями свойств / В. Н. Парфенов // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 2003. – Т.46 – № 11. – С. 9–17.

110. Иванов Ю. П. Адаптивная комплексная оптимально-инвариантная фильтрация сигналов / Ю. П. Иванов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2003. – Т.46 – № 3. – С. 3–8.

111. Жук С. Я. Совместная фильтрация параметров движения цели и вида ее маневра / С. Я. Жук, П. А. Евланов // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 2001. – Т.44 – № 7. – С. 16–26.

112. Безрук В. М. Распознавание случайных сигналов описываемых авторегрессионной моделью / В. М. Безрук, В. Г. Голиков, В. А. Тихонов // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 2004. – Т.4 – № 10. – С. 59–65.

113. Иванов А. В. Алгоритмы обработки информации в бортовых комплексных радионавигационных системах определения скорости и координат / А. В. Иванов, В. И. Герасимов // Радиотехника. – 2006. – № 5. – С. 63–71.

114. Трифонов А. П. Влияние изменения свойств случайного сигнала на точность оценок его параметров / А. П. Трифонов // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 1996. – № 1. – С. 3–15.

115. Порівняльний аналіз ефективності субоптимальних алгоритмів дискретної фільтрації / [Ю. М. Воловик, В. В. Логвиненко, М. А. Шутило, А. Ю. Воловик] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький: ТУП. – 2005. – № 2, – С. 92–97.

116. Кичак В. М. Адаптивное оценивание сообщений в телеметрическом канале связи, пораженном хаотической импульсной помехой / В. М. Кичак, Ю. М. Воловик, А. Ю. Воловик // Прикладная радиоэлектроника. – Харьков. – 2006. – Т.5. – № 2. – С. 279–283.

117. Воловик Ю. М. Захист інформації в алгоритмах дискретної фільтрації від збоїв у роботі апаратних засобів / [Ю. М. Воловик, М. А. Шутило, А. Ю. Воловик] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький: ТУП. – 2006. – № 1. – С. 149–155.

118. Кичак В. М. Аналіз точності оцінювання кутових координат повітряного судна при випадкових спотвореннях матричного коефіцієнта передачі фільтра згладжування / В. М. Кичак, Ю. М. Воловик, А. Ю. Воловик // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки – 2007. – № 1. – С. 154–160.

119. Воловик Ю. М. Аналіз точності первинних спостережень за наявністю флуктуаційних шумів та хаотичних імпульсних перешкод / Ю. М. Воловик, М. А. Шутило, А. Ю. Воловик // Матеріали ІІ МНПК «Сучасні наукові дослідження – 2006». – Технічні науки. Том 14. – Дніпропетровськ. – 2006. – С. 55–59.

120. Захист інформації в алгоритмах дискретної фільтрації від збоїв у роботі апаратних засобів / [Воловик Ю. М., А. Ю. Воловик, М. А. Шутило, В. В. Загорський В. В.] // Матеріали МНТК «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2007». – Том 4. Технические науки. – Одесса, 2007. – С. 81–89.

121. Lainiotis D. G. Monte – Carlo Study of the optimal non – linear estimator: linear systems with non-gaussian initial states / D. G. Lainiotis, S. K Park // Int. J. Cont. 1972. – V.16. – P. 1029–1040.

122. Аналіз характеристик контрольного виявлювана кутових сигналів у системі посадки сантиметрового діапазону / [Ю. М. Воловик, В. В. Логвиненко, М. А. Шутило, А. Ю. Воловик] // Матеріали 8 МНТК «Контроль і управління в складних системах » (КУСС – 2005). – Вінниця, 2005. – С. 59.

123. Васильев Г. Я. Влияние сбоев управляющей ЦВМ на точность идентификации / Г. Я. Васильев // Автоматика и телемеханика. – 1975. – № 11. – С. 181–87.

124. Оптимальне оцінювання кутових координат повітряного судна у процесі заходу на посадку / [Воловик Ю. М., А. Ю Воловик, М. А. Шутило, В. В. Загорський В. В.] // Матеріали III МНК «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» (СПРТП-2007). – Вінниця, 2007. – С.65–66.

125. Кузьмин С. З. Цифровая радиолокация / С. З. Кузьмин – К. : КВиЦ, 2000. – 407 с.

126. Згуровський М. З. Аналитические методы калмановской фильтрации для систем с априорной неопределенностью / М. З. Згуровський, В. Н. Подладчиков – К. : Наукова думка, 1995. – 253 с.

127. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е Гмурман – М. : Высшая школа, 1977. – 479 с.

128. Бабак В. П. Супутникова радіонавігація / В. П. Бабак, В. В. Конін, В. П. Харченко – К. : Техніка, 2004. – 328 с.

129. Bar-Shalom Y. Tracking Low Elevation Targets in the Presence of Multipath Propagation / Y. Bar-Shalom, A. Kumar // IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems. – 1994. – Vol. 30. – № 3. – P. 36–42.

130. Bar-Shalom Y. Multitarget-Multisensor Trackeng: Application and Advances. / Y. Bar-Shalom, W. D. – Blair Vol. III. Artech. Hause, 2000. – 173 p.

131. Казаринов Ю. М. Применение микропроцессоров и микро-ЭВМ в радиотехнических системах: Учебное пособие для втузов / Ю. М. Казаринов, В. Н. Номоконов, Ф. В. Филиппов – М. : Высшая школа, 1988. – 207 с.

132. Фильтрация и стохастическое управление / Под ред. К. Т. Леондеса. – М. : Мир, 1980. – 407 с.

133. Информационные технологии в радиотехнических системах: Учебное пособие / Под ред. И. Б. Федорова – М. : Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 768 с.

134. Ширман Я. Д. Радиозлектронные системы: Основы построения и теория / Я. Д. Ширман, Ю. П. Лосев, Н. Н. Минервин.; под ред. Я. Д. Ширмана. – М. : ЗАО Маквис, 1998. – 577 с.

135. Сосулин Ю. Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. Учебное пособие для вузов / Ю. Г. Сосулин. – М. : Радио и связь, 1992. – 603 с.

136. Радиотехнические системы: Учебник для вузов по спец. «Радиотехника» / Ю. П. Гришин, Ю. М. Казаринов и др.; под ред. Ю. М. Казаринова – М. : Высшая школа, 1990. – 496 с.

137. Радиолокационное сопровождение интенсивно маневрирующих воздушных объектов. Научно – техническая серия. Радиолокация и радионавигация. – М. : Изд. МГТУ им, Н. Э. Баумана, 1999. – Вып.1. № 1. – 137 с.

138. Фаринс А. Цифровая обработка радиолокационной информации: Сопровождение целей / А. Фаринс, Ф. Стуер.; пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1993. – 487с.

139. Слукин Г. П. Синтез алгоритма траекторной обработки для плотных потоков помеховых отсчетов и разреженного потока траекторий / Г. П. Слукин // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2000. – № 4. – С. 27–40.

140. Оптимальне оцінювання кутових координат повітряного судна у процесі заходу на посадку / [А. Ю. Воловик, Ю. М. Воловик, М. А. Шутило, В. В. Загорський]. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 5. – С. 20–26.

141. Новые классы полигауссовых моделей в статистической теории приема сигналов современных радиозлектронных систем / [Ш. М. Чабдаров, А. Ф. Надеев, В. Л. Сафонов и др.]. // Прикладная радиозлектроника. Т. 1. – 2002. – № 2 – С. 171–180.

142. Обработка случайных сигналов и процессов / [А. Н. Беседин, А. А. Зеленский, Г. П. Кулемин, В. В. Лукин]. – Харьков: ХАИ, 2005. – 469 с.

Наукове видання

Кичак Василь Мартинович
Воловик Юрій Микитович
Воловик Андрій Юрійович

**МЕТОДИ ТА ПРИСТРОЇ ОБРОБКИ РАДІОСИГНАЛІВ
БОРТОВИХ АВІАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПОСАДКИ**

Монографія

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено Ю. Воловиком

Підписано до друку 20.06.2011 р.
Формат 29,7×42¼ Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 12,01
Наклад 100 прим. Зам № 2011-002

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.