

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко**

# **МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ**

**Монографія**

Вінниця  
ВНТУ  
2018

---

Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/524>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>

УДК 621.315.623; 621. 311

K95

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 5 від 19 грудня 2017 р.)

Рецензенти:

**О.М. Сінчук**, доктор технічних наук, професор

**В. В. Кухарчук**, доктор технічних наук, професор

**Кутін, В.М.**

K95      Методи та засоби діагностування елегазових вимикачів : монографія / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 124 с.

ISBN 978-966-641-722-3

В монографії розглянуто причини та характер зміни технічного стану елегазових вимикачів. Проведено аналіз існуючих методів та засобів обслуговування елегазових вимикачів в процесі експлуатації. Розглянуто діагностичне забезпечення елегазових вимикачів. Запропоновано вдосконалення методів діагностування, розглянуто діагностичні методи, умови роботоздатності окремих елементів елегазових вимикачів.

Книга розрахована на фахівців, які займаються проектуванням, виготовленням і експлуатацією елегазових вимикачів. Може використовуватись студентами, аспірантами та інженерно-технічними працівниками, які обслуговують розподільчі установки високої напруги.

УДК 621.315.623; 621. 311

ISBN 978-966-641-722-3

© В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко, 2018

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	5
ВСТУП .....	6
Розділ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ .....	8
1.1 Загальна характеристика елегазових вимикачів.....	8
1.2 Дослідження пошкоджуваності елегазових високовольтних вимикачів .....	10
1.3 Аналіз існуючих методів і засобів обслуговування елегазових вимикачів в процесі експлуатації .....	14
1.4 Діагностичне забезпечення елегазових вимикачів.....	25
Розділ 2 МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА МОДЕЛІЬ ЕЛЕГАЗОВОГО ВИМИКАЧА .....	31
2.1 Розробка методу діагностування елегазових високовольтних вимикачів .....	31
2.2 Математична модель тестового сигналу .....	34
2.3 Діагностичні параметри та ознаки технічного стану конструктивних елементів елегазових вимикачів.....	46
2.4 Дослідження динамічної характеристики тестового сигналу .....	50
2.5 Дослідження впливу складу дугогасильного середовища елегазових вимикачів на ємність між рухомим і нерухомим контактами.....	53
2.6 Розробка алгоритму реалізації комбінованого методу діагностування .....	57
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ .....	59
3.1 Визначення параметрів ізоляції апаратних введів комбінованим методом діагностування вимикача .....	59
3.2 Визначення параметрів опору постійному струму елегазового вимикача комбінованим методом діагностування.....	62
3.3 Визначення технічного стану дугогасильного середовища елегазових вимикачів комбінованим методом.....	65
3.4 Дослідження впливу технічного стану привідного механізму на результати діагностування .....	66

3.5 Дослідження резонансної частоти тестового сигналу .....	71
3.6 Вибір оптимальних параметрів пристрою контролю швидкісних характеристик .....	74
3.7 Дослідження впливу технічного стану окремих вузлів привідного механізму на швидкісну характеристику .....	81
3.8 Обґрунтування діагностичних параметрів оцінювання технічного стану елегазового вимикача .....	84
<b>Розділ 4 РОЗРОБКА НОВИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ .....</b>	
<b>4.1 Апаратна реалізація комбінованого методу діагностування елегазових вимикачів .....</b>	<b>87</b>
4.2 Розробка принципової схеми діагностичного комплексу для визначення технічного стану високовольтних вимикачів .....	89
4.3 Оцінка помилок першого і другого роду при визначенні швидкості руху РКС .....	97
4.4 Економічний ефект від впровадження у виробництво діагностичного комплексу для визначення технічного стану елегазових високовольтних вимикачів .....	105
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>110</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>112</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВВ	– високовольтний вимикач
ДГК	– дугогасильна камера
ДР	– диференціальне рівняння
РКС	– рухома контактна система
МКА	– метод комплексних амплітуд
ППК	– пакет прикладних програм
СКЗ	– струм короткого замикання
АВВ	– Asea Brown Boveri
СБК	– супроводжуючі блок-контакти
ТОР	– технічне обслуговування і ремонт
ППР	– планово-попереджувальний ремонт
ЕЕС	– електроенергетична система
НЕК	– національна енергетична компанія
ЦАП	– цифрово-аналоговий перетворювач
АЦП	– аналогово-цифровий перетворювач
ОС	– операційна система
ПЕОМ	– персональна електронно-обчислювальна машина
РКС	– рухома контактна система
ВДК	– вакуумна дугогасильна камера
ТС	– технічний стан
РЗА	– релейний захист і автоматика

## ВСТУП

Забезпечення надійності і стійкості роботи об'єднаної електроенергетичної системи в цілому пов'язане з якістю управління її електричними режимами. В електроустановках і системах передачі струму високої напруги основними комутаційними апаратами автоматичної дії, за допомогою яких виконуються будь-які зміни в колах струму при всіх можливих в цій точці системи режимах роботи є високовольтні вимикачі. Основною задачею яких є локалізація аварійних ситуацій при пошкодженнях високовольтного обладнання [1].

В наш час на підстанціях електроенергетичних систем знаходиться велика кількість вимикачів вітчизняного та закордонного виробництва, які експлуатуються понад 25 років і використали свій паспортний ресурс, тобто морально і фізично застаріли. При терміні експлуатації вимикачів 25 років і більше різко збільшується кількість відмов вимикача, що вимагає непланових ремонтів, які, як правило, потребують значних витрат [2].

Наприкінці XX ст. і початку XXI ст. розпочалась інтенсивна заміна застарілих вимикачів, таких як оливні та повітряні, на нові елегазові та вакуумні. Дослідження динаміки впровадження елегазових високовольтних вимикачів на енергетичних підприємствах України, високі темпи їх впровадження. Введення в експлуатацію елегазових вимикачів різних типів та виробників потребує детального ознайомлення персоналу експлуатуючих організацій з технічної документацією, накопичення та аналіз досвіду експлуатації як власного, так і подібного до нього обладнання [3].

Досвід експлуатації елегазових вимикачів, порівняно з досвідом експлуатації повітряних та оливних, набагато менший. Проте його аналіз свідчить про велику кількість різних типів та виробників елегазових вимикачів, що вимагає від проектних організацій ретельного підбору технічних характеристик вимикача та його виробника під час виконання проектних рішень та реконструкції розподільчих пристроїв [4].

Для визначення технічного стану вимикача використовуються різні методи і засоби, які дозволяють визначати значення різних діагнос-

тичних параметрів, наприклад, параметри часових та швидкісних характеристик. На результати визначення параметрів часових та швидкісних характеристик вимикача, який встановлений на діючій підстанції, негативний вплив мають завади, що викликані умовами експлуатації (високою напругою, вологістю повітря, коронними розрядами, частковими розрядами в ізоляції, комутаційними перенапругами і т. п.). Такі завади зменшують якість діагностування та виявлення дефектів, особливо, на ранній стадії їх розвитку [5].

Широке впровадження елегазових вимикачів та зростання їх кількості в експлуатуючих організаціях дозволили отримати статистику їхніх відмов, яка свідчить про необхідність вдосконалення методів і засобів визначення технічного стану як під час експлуатації (системи онлайн-моніторингу), так і при оглядах. Вони мають бути універсальними, інформативними та дозволяти в короткий термін часу огляд вимикача, визначати технічний стан багатьох вузлів цих вимикачів [6].

Отже питання вдосконалення існуючих методів та засобів діагностування елегазових високовольтних вимикачів, для виявлення та зменшення кількості їх відмов на початковій стадії їх розвитку, є актуальним, оскільки це дозволить підвищити рівень надійності експлуатації як самого обладнання так і електроенергетичних систем в цілому.

# Розділ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ

## 1.1 Загальна характеристика елегазових вимикачів

Одними з найбільш важливих комутаційних апаратів, від надійності функціонування яких в значній мірі залежить надійність роботи електроенергетичної системи, є високовольтні вимикачі. Під час виникнення аварійних ситуацій, при пошкодженні високовольтного обладнання, задачі з їх локалізації, в першу чергу, виконують вимикачі. В наш час в Україні в експлуатації перебуває значна кількість повітряних та оливних вимикачів, які відпрацювали свій нормативний термін експлуатації та потребують заміни. Одним з найбільш перспективних напрямків розвитку високовольтних вимикачів є елегазові та вакуумні, у яких дуга гаситься більш ефективно порівняно зі стисненим повітрям чи оливою. Проте задача при виборі нового вимикача є досить не простою. Існує велика кількість різних типів та конструкцій елегазових вимикачів (рис. 1.1), що ускладнює їх вибір, особливо в умовах відсутності досвіду експлуатації [7, 8].

Наприклад, в наш час виготовляються елегазові вимикачі на напругу 35 кВ, а вакуумні на 110 кВ, але досвід експлуатації таких вимикачів значно менший ніж оливних та повітряних, або елегазових на клас напруги 110 кВ, а вакуумних на клас напруги 35 кВ [9].

Конструктивно елегазові вимикачі відрізняються за типом дугогасильної камери та привідного механізму. В дугогасильній камері застосовується компресійний або автокомпресійний принцип гасіння електричної дуги. Приводи виготовляються за двома напрямками – пружинний або пружинно-гідролічний. Також при виборі елегазового вимикача на клас напруги 110 кВ слід враховувати спосіб управління, трифазний або однофазний. На клас напруги 750 кВ використовується два послідовно з'єднані модулі, які керуються одним або двома приводами. Термін експлуатації таких вимикачів становить 25–30 років або по вичерпанню комутаційного ресурсу який, в свою чергу, залежить від кількості комутацій, виконаних вимикачем, та величини струмів вимкнення [10, 11].

Вимикачі високої напруги призначені для оперативних і аварійних комутацій в електроенергетичних системах. У ввімкненому стані вимикач повинен тривалий час пропускати струми навантаження і короткочасно – аварійні. Їх характер режиму дещо незвичайний: нормальним



для них вважається як увімкнене положення, коли крізь них протікають струми навантаження, так і вимкнене, при якому вони забезпечують необхідну електричну ізоляцію між розімкнутими частинами кола. Високовольтні вимикачі повинні надійно виконувати свої функції в будь-якому з вказаних станів і одночасно бути готовими до миттєвого виконання будь-якої комутаційної операції, найчастіше після тривалого перебування в нерухомому стані. Найбільш важким для вимикача є режим вимкнення струмів короткого замикання. Тому під час заміни повітряних вимикачів на елегазові потрібно враховувати не лише основні характеристики (наприклад номінальну напругу, номінальний струм, номінальний струм вимкнення та інші) а й особливості їх використання за місцем експлуатації (наприклад, можливість вимкнення струму збудження, враховуючи пусковий струм з малою обмежуючою напругою без формування небезпечних перенапруг, сейсмостійкість району встановлення, значення кліматичних факторів та інші) [12, 13]. Також, приймаючи виважене рішення варто враховувати періодичність та інтенсивність виконання операцій увімкнення та вимкнення, що важливо під час вибору генераторного чи лінійного вимикача, можливість вимкнення повітряних ліній на холостому ході у випадку застосування вимикача у якості реакторного [14].

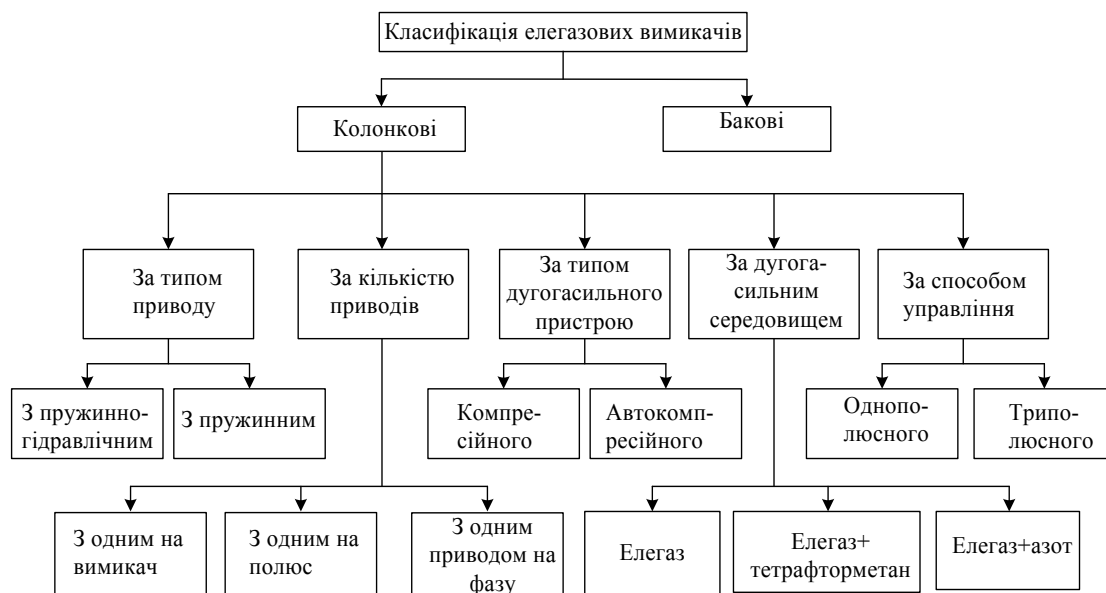


Рисунок 1.1 – Класифікація вимикачів

## 1.2 Дослідження пошкоджуваності елегазових високовольтних вимикачів

Першочерговою вимогою до високовольтних вимикачів, які встановлені в розподільних пристроях, є надійність. Від вдалого проведення комутаційних операцій залежить подальша робота підстанції та енергосистеми в цілому. До показників надійності можна віднести: інтенсивність відмов  $\lambda$ , 1/рік; період нормальної експлуатації  $T_0$ , років (годин); ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ . Інтенсивність відмов підтверджується досвідом експлуатації, а оцінку показників надійності виконують на основі аналізу статистики відмов в експлуатації [15].

Високовольтні вимикачі мають три найбільш характерні періоди роботи (рис. 1.2):

- 1 – припрацювання ( $0 < t < t_1$ );
- 2 – нормальна експлуатація ( $t_1 < t < t_2$ );
- 3 – старіння чи зношеність ( $t > t_2$ ).

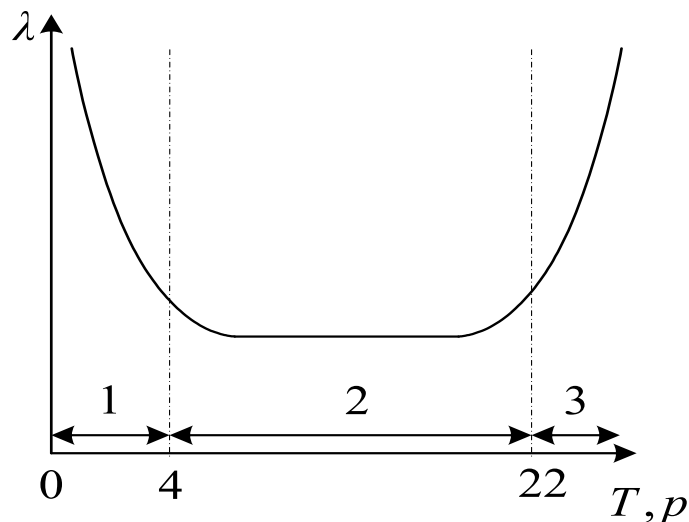


Рисунок 1.2 – Інтенсивність відмов високовольтних вимикачів  
( $\lambda$  – інтенсивність відмов)

Як показано на рис. 1.2 велика кількість відмов вимикачів виникає в перші роки експлуатації (період припрацювання) та в кінці терміну експлуатації (період старіння або зношеності) згідно з паспортним ресурсом. Період припрацювання характеризується інтенсивністю відмов викликаних відхиленням від вимог конструкторсько-технологічної документації. Період старіння або зношеності харак-

теризується різким збільшенням інтенсивності відмов зумовлених зношеністю. Період нормальної експлуатації характеризується мінімальною і постійною інтенсивністю раптових відмов [16].

Термін експлуатації елегазових вимикачів значно менший ніж оливних і повітряних. Тому значення параметрів пошкоджуваності є набагато меншим. З метою оптимізації досліджень пошкоджуваності елегазових вимикачів та вдосконалення методів та засобів керування їх надійністю було виконано аналіз причин їх відмов [17].

Досвід експлуатації високовольтних вимикачів свідчить про те, що існує ймовірність відмов як застарілих, так і нових типів і конструкцій вимикачів (рис. 1.3) [18].

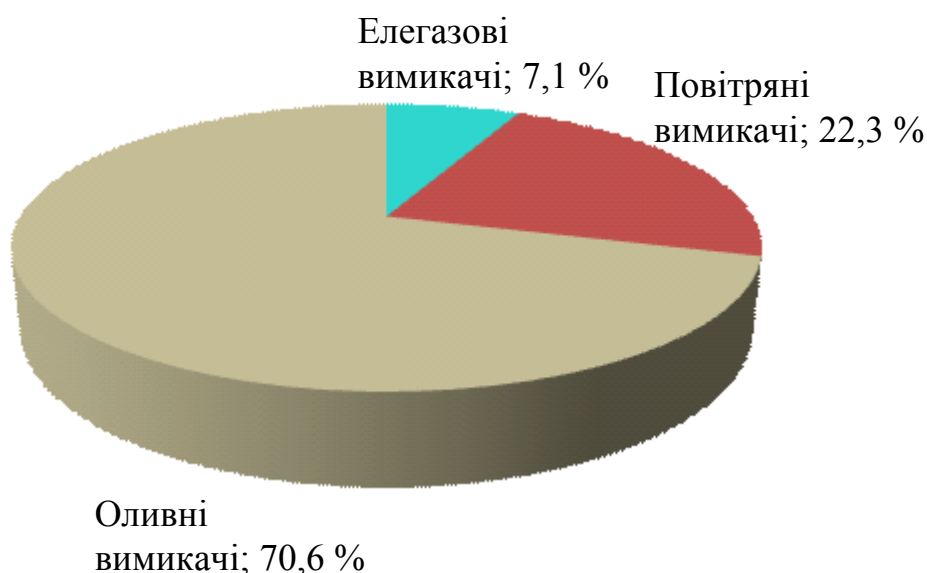


Рисунок 1.3 – Діаграма відмов високовольтних вимикачів

Як видно з діаграми відмов (див. рис. 1.3) кількість відмов елегазових вимикачів набагато менша порівняно з оливними та повітряним. Тому зрозумілим є прагнення експлуатуючих організацій замінити застарілі типи вимикачів на нові і сучасні. Проте, слід враховувати те, що відмови елегазових вимикачів все ж таки існують.

В період з 1998 по 2014 рік в Південно-Західній електроенергетичній системі встановлено понад 90 елегазових вимикачів різних класів напруг та виробників. Під час експлуатації зустрічались такі причини відмов як: пошкодження котушок електромагнітів уві-

мкнення та вимкнення; спалення двигуна заведення пружини; неправильна робота релейного захисту та автоматики; втрата тиску елегазу пов'язана з неякісним проведенням пусконаладжувальних робіт та з ущільненнями в картері дугогасильної камери; пошкодження обігрівальних пристроїв; несправності пристроїв сигналізації тиску елегазу. Під час проведення пусконаладжувальних робіт, які виконував шеф-інженер на вимикачі класу напруги 750 кВ, було зафіксовано нестабільну роботу приводу. Під час подання сигналу на увімкнення вимикач не при кожній операції фіксувався в увімкненому положенні. Причиною нестабільної роботи був дисбаланс між пружинами увімкнення та вимкнення [19].

При налагодженні вимикачів на ПС-330 кВ «Хмельницька» було виявлено нестабільну роботу приводу. Після подачі команди на увімкнення привід не фіксувався в увімкненому положенні і самовільно вимикався. Причиною цього був недостатній натяг пружинки для фіксації заціпки вимкнення. При виконанні операції увімкнення короткочасно з'являлась «земля» в колах постійного струму. Причиною цього був малий зазор між захисним металевим кожухом та проводом резистора для динамічного гальмування двигуна. Встановлено витік елегазу з зворотного клапана газорозподільної системи. При плановому технічному обслуговуванні та перевірці захистів вимикачів через рік після введення в експлуатацію виникли дефекти при увімкненні вимикачів. Вимикачі не фіксувалися в увімкненому положенні і самовільно вимикалися. За вказівкою представника заводу-виробника було виконано регулювання приводу, а саме вкручування болта розщеплювача приводу [20].

Проаналізувавши експлуатацію елегазових вимикачів, які введені в роботу на підприємствах України, було встановлено такі причини відмов: обрив скло епоксидних тяг в дугогасильній камері; розірвання дугогасильних камер під час виконання неуспішного АПВ на елегазовому вимикачі *LTB800E/4* з причини нездатності вимкнення вимикачем струму майже 500 А (холостий струм лінії); втрата тиску дугогасильного середовища; спалення електромагнітів вмикавання та вимкнення; порушення кріплення ковзких контактів до дуттєвого циліндра, що в свою чергу призвело до пробою ізоляційного проміжку між рухомим та нерухомим контактами вимикача, який виконав 6718 циклів; зафіксовано відмови бакових елегазових вимикачів з

причини блокування кіл управління, які спричинила мала потужність і низька надійність обігрівальних приладів баків [17, 18, 20]. Діаграма розподілу відмов для елегазових вимикачів зображена на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Діаграма відмов елегазових вимикачів

Аналіз експлуатації високовольтних вимикачів на підприємствах України свідчить про те, що кількість елегазових високовольтних вимикачів з року в рік збільшується. Так в Південно-Західній електроенергетичній системі за період з 1998 по 2014 рр. включно встановлено понад 90 вимикачів таких провідних виробників як АВВ, *Alstom*, *Siemens* та ВГТ. Велика кількість різних типів вимикачів змушує експлуатуючий персонал вивчати велику кількість технічної документації та різних методів і засобів для їх діагностування [19].

Більшість відмов елегазових вимикачів могло б не бути завдяки завчасному проведенню заходів з усунення причин пошкодження на початковій стадії їх виникнення.

Тому актуальною є задача вдосконалення методів та засобів визначення технічного стану високовольтних вимикачів в умовах підвищення ефективності існуючих методів забезпечення їх безаварійної роботи.

### 1.3 Аналіз існуючих методів і засобів обслуговування елегазових вимикачів в процесі експлуатації

Сучасне електротехнічне обладнання має досить високі розрахункові показники надійності. Проте в процесі експлуатації під дією різних факторів, умов і режимів роботи початковий стан обладнання безперервно погіршується, знижується експлуатаційна надійність і збільшується небезпека виникнення відмов. Надійність електротехнічного обладнання залежить не тільки від якості виготовлення, а й від науково обґрунтованих методів експлуатації, правильного технічного обслуговування і своєчасного ремонту [21, 22].

Для високовольтих вимикачів під час виробництва та приймально-здавальних випробуваннях на заводах виробників, згідно з вимогами [23, 24], проводять такі випробування: на відповідність складальному кресленню; на механічну міцність; перевірка характеристик роботи механізму вимикача; на справність дії механізму вимикача; на механічну зносостійкість; оперування в умовах ожеледиці; оперування за сумісної дії тяжіння проводів і вітрового навантаження; на електричну міцність; на нагрів; на стійкість при наскрізних струмах КЗ; на комутаційну здатність; на стійкість до дії кліматичних факторів навколишнього середовища; ресурсні випробування на механічну стійкість.

Кількість параметрів контролю, які визначають технічний стан елегазових вимикачів, що експлуатуються, менша, порівняно з кількістю параметрів контролю на заводах виробників, що зумовлено складністю або неможливістю використання більшості методів і засобів контролю в діючих електроустановках. Для елегазових вимикачів, які знаходяться в експлуатації, згідно з вимогами [23] та інструкціями заводів виробників контролюються параметри: опір ізоляції опорних та рухомих частин, опір ізоляції вторинних кіл і обмоток електромагнітів керування, вимірювання опору постійному струму струмопровідного контуру, вимірювання ізоляції підвищеною напругою кожного полюсу вимикача відносно землі і двох інших полюсів, ізоляцію між контактних розривів, перевірка мінімальної напруги спрацювання вимикачів, випробування конденсаторів дільників напруги, перевірка характеристик вимикачів, перевірка характеристик приводів вимикачів, випробування вимикачів багаторазовим увімкненням та вимкненням, перевірка

ка на витоки дугогасильного середовища, перевірка чистоти та вологості елегазу, перевірка уставок денсиметра.

Під час визначення параметрів часових та швидкісних характеристик вимикача, який встановлений на діючій підстанції, негативний вплив мають завади, що викликані умовами експлуатації (високою напругою, вологістю повітря, коронними розрядами, частковими розрядами в ізоляції, комутаційними перенапругами і т. п.) [5]. Такі завади зменшують якість діагностування та виявлення дефектів, особливо, на ранній стадії їх розвитку. Прикладом, є негативний вплив завад на роботу пристроїв контролю швидкісних характеристик вимикача, які використовують тестовий сигнал змінної напруги заздалегідь вибраної однієї частоти [25].

Технічний стан елегазових високовольтних вимикачів можна визначати, використовуючи різні методи технічного діагностування (рис. 1.5) до задач технічного діагностування відносяться: визначення роботоздатності, місця пошкодження, прогнозування можливості подальшої безаварійної експлуатації обладнання, визначення доцільності, виду і обсягів відновлювальних робіт [26].

При цьому сутність принципу контролю технічного стану полягає в визначенні відповідності діагностичних ознак вимогам діючого нормативного документа [27].

Залежно від технічних засобів і діагностичних параметрів, які використовують при проведенні діагностування високовольтних вимикачів, можна навести такий перелік методів діагностування ВВ:

- вібраційні методи діагностування;
- акустичні методи діагностування;
- теплові методи.

Важливе місце в діагностиці високовольтних вимикачів займає тепловізійний контроль. З застосуванням інфрачервоної техніки кожний рік виявляється значна кількість дефектів на електрообладнанні. Інфрачервона діагностика має низку переваг у порівнянні із традиційними методами випробувань [30].

Для тепловізійних спостережень і вимірювань використовують два основні «вікна прозорості» атмосфери 3–5 мкм і 8–12 мкм, у яких і працюють тепловізори. Вимірювання необхідно проводити при відсутності прямого сонячного випромінювання, при цьому суцільна хмарність не пропускає ІЧ випромінювання сонця.

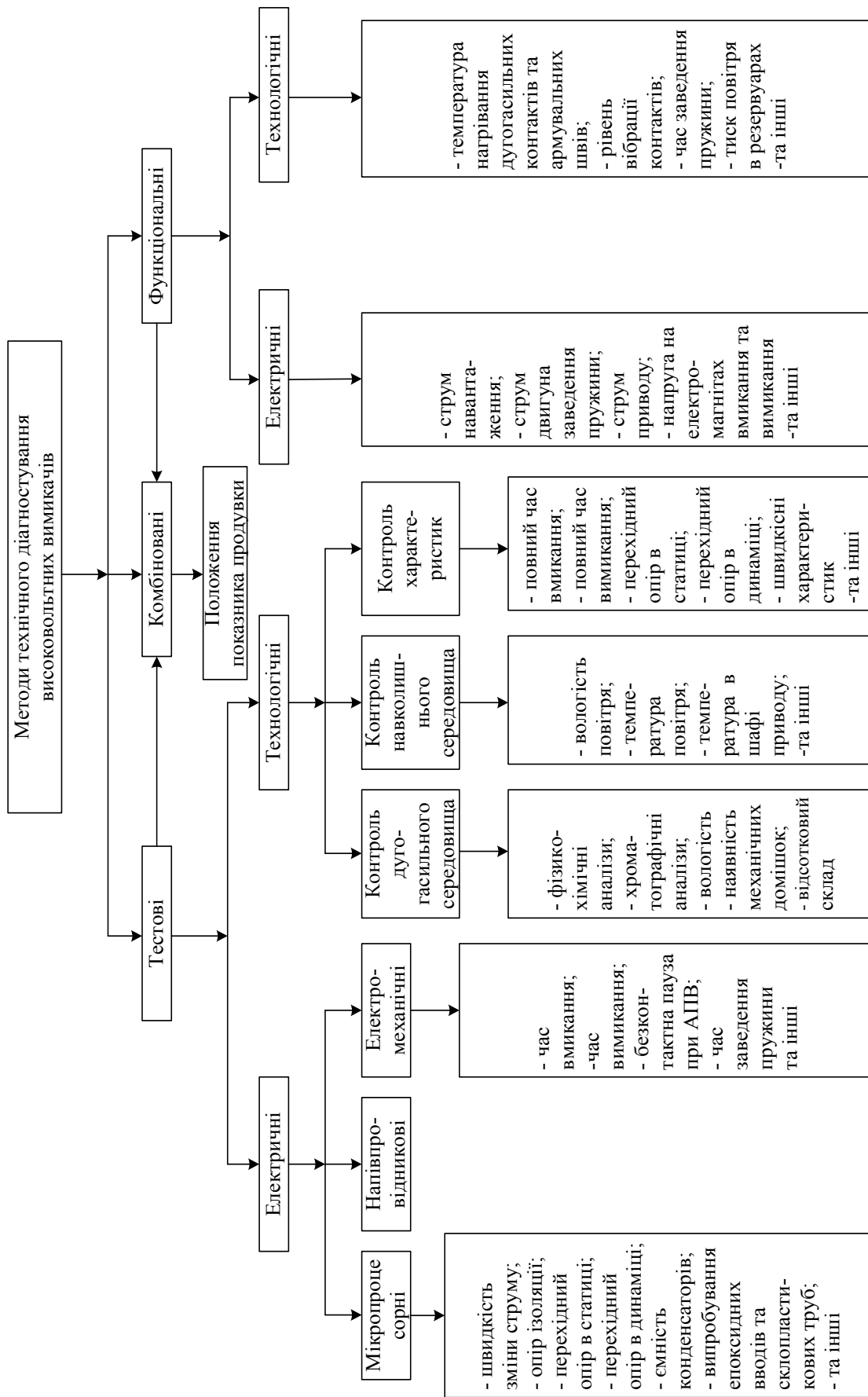


Рисунок 1.5 – Класифікація методів технічного діагностування високовольтних вимикачів



На рис. 1.6. наведено приклад теплограми, яка зафіксувала підвищення температури в дугогасильній камері до 5,4 °С за рахунок збільшення перехідного опору до 106 мкОм при нормованому значенні відповідно до заводської інструкції 60 мкОм.

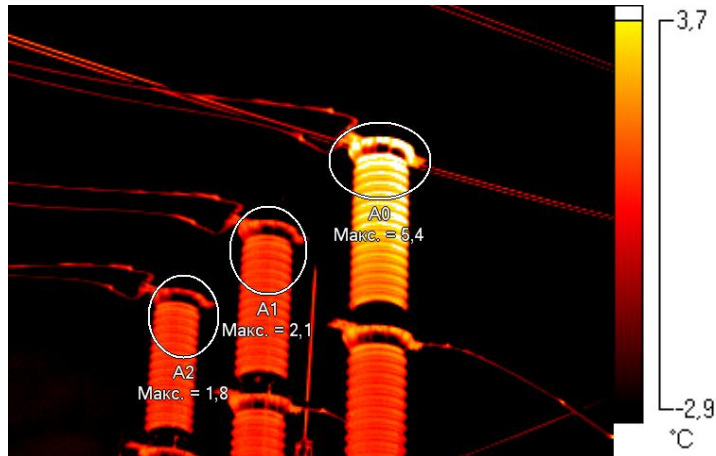


Рисунок 1.6 – Теплограма елегазового вимикача

Недоліком тепловізійного контролю є велика похибка вимірювань при малих значеннях. Так, наприклад, в діапазоні вимірювань від  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$  зведена похибка [31] тепловізора *Fluke* становить  $\gamma = 1\%$  від номінального значення, яке дорівнює  $X_n = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Тому абсолютна похибка приладу

$$\Delta_x = \frac{\gamma \cdot X_n}{100} = \frac{1 \cdot 100}{100} = 1\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (1.1)$$

Отже, температура нагріву контактів елегазового вимикача типу ВГТ-110.ІІІ-40/2000У1 виміряна з точністю  $t_x = (5,4 \pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тобто істинне значення температури знаходиться в межах  $4,4 \leq t \leq 6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Відносна похибка вимірюваного значення  $t_x$

$$\delta_x = \frac{\Delta}{t_x} \cdot 100 = \frac{1}{5,4} \cdot 100 \approx 18\% . \quad (1.2)$$

Як бачимо, відносна похибка окремого вимірювання перевищує зведену похибку приладу, що визначається його класом точності. А тому, щоб отримати більш точне дійсне значення величини, вимірювання необхідно проводити за допомогою приладу із номінальним значенням шкали найближчим до вимірюваної величини.

Серед різних форм представлення результатів контролю параметрів вимикачів необхідно обирати таку, щоб вона була інформативною і зручною. Такою є графічна форма представлення інформації. Якщо зіставити графіки двох процесів, то легко виявити відмінності в перебігу процесів, погіршення технічного стану (деградації) обладнання. Аналіз результатів контролю, у вигляді графіків, дозволяє виявити приховані дефекти вимикачів, скоротити терміни проведення ремонтів і підвищить їх якість, що з рештою приведе до підвищення надійності роботи вимикачів [32, 33, 34].

В практиці контролю високовольтних вимикачів графічна форма добре відома (наприклад, часові осцилограми, одержані на світлочутливому папері шлейфового осцилографа, і віброграми швидкості, що відображають за допомогою вібрографа й рухливої лінійки) однак ці графіки незручні для безпосереднього сприйняття й вимагають попередньої ручної обробки [3].

Швидкість руху контактів вимикача вимірюється також електромагнітним вібрографом, який встановлюється на нерухомій частині вимикача, і паперовою стрічкою, яка закріплена на його рухомій частині, наприклад траверсі. Віброграф реєструє на рухомій стрічці швидкості, які змінюються, кривими лініями, тобто у вигляді віброграми (рис. 1.7) [35].

При русі траверси разом з нею рухається стрічка, на якій самописець вібрографа, встановлений навпроти стрічки, відображає хвилеподібну криву, яка відповідає частоті коливань якоря, тобто 50 Гц (100 коливань якоря відповідає 100 півперіодам).

Довжина стрічки дорівнює довжині шляху траверси з контактами від вимкненого до увімкненого положення вимикача, тому довжина стрічки з записом буде пропорційна шляху від положення «Увімкнено» до положення «Вимкнено». Знаючи відношення між довжиною стрічки і довжиною шляху рухомої траверси, можна визначити швидкість її руху на цьому відрізку шляху за формулою [36]

$$V = \frac{S}{n \cdot t} \text{ м/сек,} \quad (1.3)$$

де  $S$  – довжина шляху, яку пройшла траверса на розглянутій ділянці в м;  $n$  – число півперіодів кривої на ділянці  $S$ ;  $t$  – тривалість півперіоду, яка дорівнює 0,01 с.

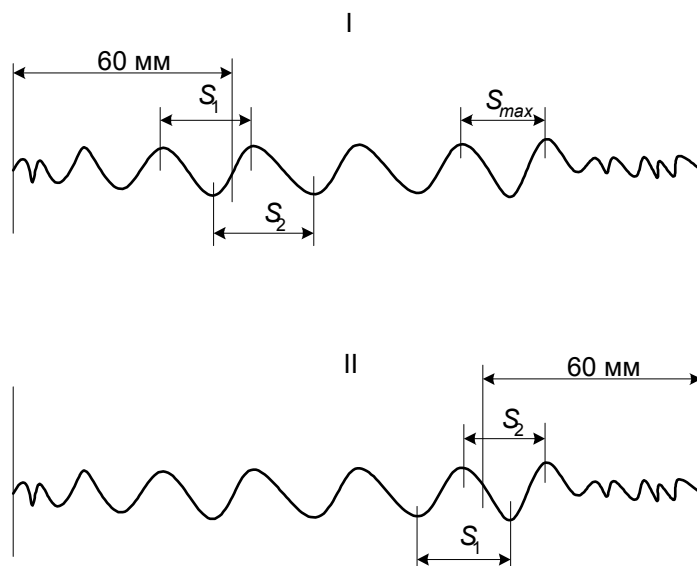


Рисунок 1.7 – Віброграма швидкості руху траверси вимикача ВМП-10

Визначивши швидкість ряду характерних точок, будують графіки кривих увімкнення і вимкнення (рис. 1.8). Графіки кривих увімкнення читаються зліва направо, а вимкнення – справа наліво [35].

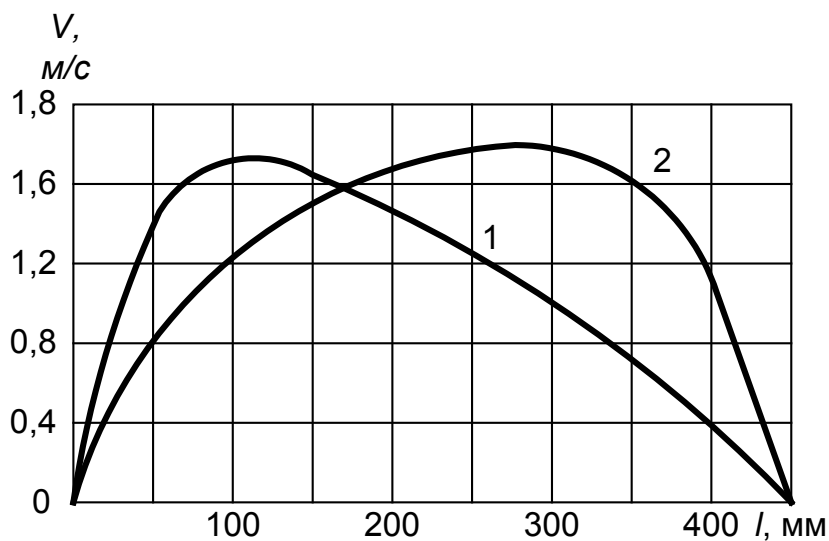


Рисунок 1.8 – Швидкісні характеристики оливного вимикача ВМП-10:  
1 – при увімкненні, 2 – при вимкненні

Відомий метод визначення параметрів руху рухомого контакту вакуумного вимикача, який реалізується за допомогою пристрою, принципова схема якого зображена на рис. 1.9а), шляхом врахування зміни ємності між рухомим та нерухомим контактами під час операції вимкнення вимикача [37]. В якості датчика використовується резистор  $R$ , який приєднаний послідовно до контактів ВДК.

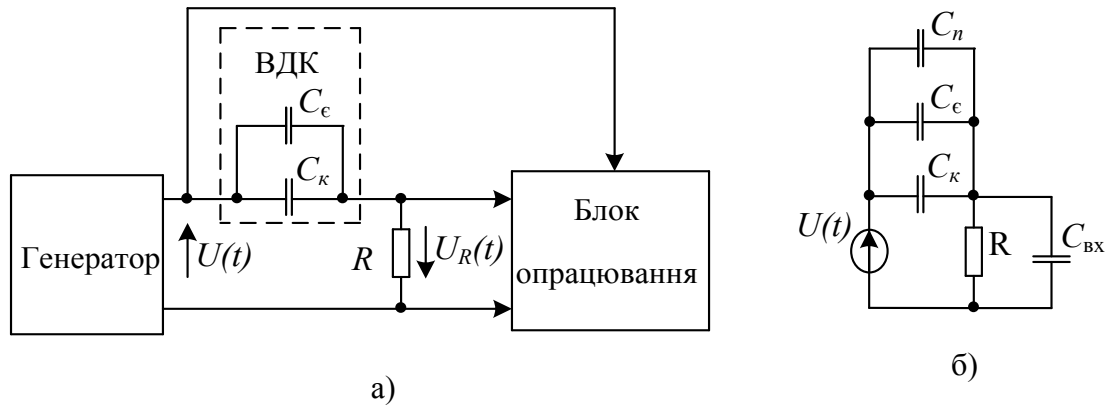


Рисунок 1.9 – Пристрій вимірювання переміщення руху контактів:  
а – принципова схема, б – схема заміщення

На схемі заміщення рис. 1.9б)  $C_n$  – ємність, яка створена проводами і шинами, приєднаними до ВДК;  $C_e$  – ємність, яка створюється контактами та екраном ВДК;  $C_k$  – ємність між контактками ВДК.

Метод здійснюється таким чином: генератор подає гармонічну напругу  $u(t) = U_m \cos 2\pi ft$ ,  $f$  – амплітуда і частота напруги відповідно; вибирається частота напруги такою, щоб за час, рівний періоду  $T = 1/f$ , переміщення рухомого контакту і приріст швидкості не перевищували попередньо заданих абсолютних похибок вимірювання вказаних величин; фіксується падіння напруги на резисторі  $R$ ; блок опрацювання перетворює діючі значення напруги  $u(t)$  і  $u_R(t)$  в значення переміщення і швидкості рухомого контакту ВДК [37].

Недоліком цього способу є те, що він не враховує активний опір ізоляції та активний опір між контактами ВДК, які під час виконання операцій змінюють своє значення. Слід звернути увагу на те, що значення ємностей  $C_n$  та  $C_e$  змінюється в залежності від умов навколишнього середовища та місця встановлення вимикача, який діагностується. Оскільки в перший момент руху контактів під час операції вимкнення вимикача ємність стрибкоподібно змінює своє значення, тому результати, отримані за даним методом без визначення оптимальної частоти, є малоінформативними. За даним методом максимсальна ємність між контактками ВДК становить 300 пФ, проте експериментальні дані підтверджують, що максимальна ємність між контактками ВДК становить 35–50 пФ в залежності від умов навколишнього середовища, де виконуються випробування.

Відомий метод [5] визначення технічних параметрів вимикача таких як стан дугогасильного середовища, часові характеристики та характеристики преміщення рухомих контактів, який реалізується (рис. 1.10) шляхом неперервного контролю зміни ємності між контактами вимикача під час їх спрацювання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Портной М. Г. Управление энергосистемами для обеспечения устойчивости / М. Г. Портной, Р. С. Рабинович. – М. : Энергия, 1978. – 352 с.
2. Лежнюк П. Д. Комутаційні електричні апарати : навчальний посібник / П. Д. Лежнюк, В. Ц. Зелінський, Л. Н. Добровольська. – Луцьк : ЛНТУ, 2010. – 308 с.
3. Рубаненко О. Є. Вдосконалення методів і засобів діагностування високовольтних вимикачів : монографія / О. Є. Рубаненко. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 188 с.
4. Жданов П. С. Вопросы устойчивости электрических систем / под. ред. Л. А. Жукова. – М. : Энергия, 1979. – 456 с.
5. Патент №US 6,963,203 B2. Methods and apparatus for analyzing high voltage circuit breakers / Zoran Stanisic, Heinz Wernh. – № US 10/764,243 ; заявл. 23.01.2004 ; опубл. 8.11.2005.
6. Тимашова Л. В. Анализ повреждаемости выключателей 110–750 кВ [Электронный ресурс] / Л. В. Тимашова, И. Л. Шлейфман, И. А. Назаров // Высоковольтное коммутационное оборудование : материалы V международной научно-технической конференции. – М., 2009. – 8 с. – Режим доступа: [http://gendocs.ru/docs/13/12153/conv\\_21/file21.pdf](http://gendocs.ru/docs/13/12153/conv_21/file21.pdf).
7. Электрические аппараты высокого напряжения / под ред. Г. Н. Александрова. – Л. : Энергоатомиздат, 1989. – 344 с.
8. Жданов П. С. Вопросы устойчивости электрических систем / под. ред. Л. А. Жукова. – М. : Энергия, 1979. – 456 с.
9. Рубаненко О. Є. Координація впровадження та забезпечення надійності елегазових вимикачів в умовах експлуатації / О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 1. – С. 135–139.
10. Выключатели колонковые элегазовые. Справочник покупателя / АВВ АВ. – 4-е изд. – Людвиг, Швеция, 2008. – 128 с.
11. Неклепаев Б. Н. Методика оценки коммутационного ресурса выключателей при эксплуатации / Б. Н. Неклепаев, А. А. Востросаблин // Пром. энергетика. – 1995. – № 1. – С. 28–35.

12. Электрические аппараты высокого напряжения с элегазовой изоляцией / под ред. Ю. И. Вишневого. – М. : Энергоатамиздат, 2002. – 728 с.

13. Александров Г. Н. Изоляция электрических аппаратов высокого напряжения / Г. Н. Александров, В. Л. Иванов. – Л. : Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.

14. Кукеков Г. А. Выключатели переменного тока высокого напряжения / Г. А. Кукеков. – Л. : Энергия, 1972. – 336 с.

15. Гук Ю. Б. Основы надежности электрических установок / Ю. Б. Гук. – Л. : ЛГУ, 1976. – 192 с.

16. Проблемы надежности электроэнергетических систем / И. А. Александров, В. А. Веников, В. В. Могирев и др. // Энергетика и транспорт. – 1976. – № 1. – С. 38–45.

17. Тарасевич П. Й. Перспективи розвитку засобів виявлення високовольтних вимикачів напругою 110–750 кВ, що відмовили / П. Й. Тарасевич // Електроенергетичні та електромеханічні системи. – Л. : Вид-во Нац. університету «Львівська політехніка», – 2009. – С. 91–96.

18. Андреев Д. А. Анализ методов расчета коммутационного ресурса высоковольтных выключателей / Д. А. Андреев, И. А. Назарычев // Вестник ИГЭУ. – 2008. – № 2. – С. 69–84.

19. Досвід та перспективи експлуатації елегазових вимикачів у Південно-Західній енергетичній системі / Р. І. Михайлюк, С. В. Мисенко, В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко // Енергетика та електрифікація. – 2014. – № 3. – С. 34–37.

20. Кутін В. М. Досвід впровадження та забезпечення надійності елегазових вимикачів в умовах експлуатації / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко // Наукові праці ВНТУ. – 2013. – № 1. – С. 1–7.

21. Чунихин А. А. Электрические аппараты. Общий курс : учебник для вузов / А. А. Чунихин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1988. – 720 с.

22. Стратегії ТО і Р і діагностика обладнання [Електронний ресурс] // Новини електротехніки : інформаційно-довідкове видання. –

2008. – № 2(50). – Режим доступу до журналу:  
<http://www.news.elteh.ru/arh/2008/50/20.php>.

23. Норми випробовувань електрообладнання : СОУ–Н ЕЕ 20.302:2007. – Видання офіційне. – К. : ГРІФРЕ, 2007. – 262 с. (Нормативний документ мінпаливенерго України).

24. ГОСТ Р 52565-2006. Выключатели переменного тока на напряжения от 3 до 750 кВ. Общие технические условия. – М. : Стандартинформ, 2007.

25. Патент №US 6,850,072 B2. Methods and apparatus for analyzing high voltage circuit breakers / Zoran Stanisic, Heinz Wernh. – № US 10/403,695 ; заявл. 31.03.2003 ; опубл. 1.02.2005.

26. Гобрей, Р. М. Технічне діагностування, випробування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагодження і експлуатації. Довідниково-методичний посібник (частина 1) / Р. М. Гобрей, О. Є. Рубаненко, В. Л. Таловеря. – Київ : АсЕлЕнерго, 2008. – 524 с

27. Кутин В. М. Диагностирование электрооборудования электрических систем : учеб. пособие / В. М. Кутин, В. И. Брейтбурд. – К. : УМК ВО, 1991. – 104 с.

28. Неклепаев Б. Н. Механическая и коммутационная износостойкость выключателей / Б. Н. Неклепаев, А. А. Востросаблин // Пром. энергетика. – 1992. – № 8. – С. 14–16.

29. ANSI C37.06–1987, AC High–Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis – Preferred Ratings and Related Required Capabilities, American National Standards Institute, Inc. New York, 1987.

30. Бажанов С. А. Инфракрасная диагностика электрооборудования распределительных устройств / С. А. Бажанов. – М. : Энергопрогресс, 2000. – 76 с.

31. Дунаев Б. Б. Точность измерения при контроле качества / Б. Б. Дунаев. – К. : Техніка, 1981. – 152 с.

32. Технічне діагностування, випробування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагодження і в експлуатації : довідниково-методичний посібник. – Ч. 2. Загальні методи та засоби діагностування, випробувань та вимірювань електрообладнання, виведе-

ного з роботи / Р. М. Гобрей, Г. В. Шинкаренко, О. М. Болдирев, Г. М. Коліушко, Д. Г. Коліушко. – К. : ДП НТУКЦ, 2011. – 1008 с.

33. Чернышев Н. А. Приборы контроля высоковольтных выключателей / Н. А. Чернышев. // Энергетик. – 2003. – № 11. – С. 8–14.

34. M. Adam. About the monitoring and diagnostic of the circuit breakers / M. Adam, A. Varaboi, C. Pancu // The XIII-th. International Symposium on High Voltage Engineering. – Delft, Olanda, 2003. – 4 p.

35. Штерн В. И. Испытания масляных выключателей 635 кВ / В. И. Штерн. – 2-е изд., перераб. – М. : Энергия, 1975. – 112 с.

36. Волович Г. И. Прибор для определения скоростных характеристик масляных выключателей / Г. И. Волович, Е. С. Перминов. // Энергетик. – 2010. – № 1. – С. 1–5.

37. Денисов Л. В. Метод измерения параметров движения контакта вакуумного выключателя / Л. В. Денисов, С. Р. Зиборов, Д. В. Моисеенко // Вісник СевНТУ. – 2010. – № 101. – С. 135–141.

38. Richard Thomas. Controlled Switching of High Voltage SF6 Circuit Breakers for Fault Interruption. Thesis for the degree of licentiate of engineering. – Sweden, 2004. – 259 p.

39. Maricel Adam. Monitoring and diagnostic system for high voltage circuit breakers / Maricel Adam, Adrian Varaboi, Catalin Pancu // International conference on electromechanical and power systems. – Moldova, 2007. – P. 55–60.

40. Working Group A3.07, “Controlled Switching of HV AC Circuit Breakers : Guidance for further applications including unloaded transformer switching, load and fault interruption and circuit–breaker uprating”, Jan 2004, CIGRE, Paris.

41. Чернышев Н. А. Аппаратура и метод раннего обнаружения дефектов в механизмах высоковольтных выключателей / Н. А. Чернышев, А. Л. Ракевич // Электрические станции. – 2004. – № 11. – С. 61–65.

42. Heising C. R., Colombo E., Janssen A. L. J., Maaskola J. E., Dialynas E., “Final Report on High–Voltage Circuit Breaker Reliability Data for Use in Substation and System Studies”, Paper 13–201, CIGRE, Aug 28 – Sept 3, 1994, Paris.



43. Метод раннего обнаружения дефектов в механизмах высоковольтных выключателей : методическое пособие.[Электронный ресурс]. – Харьков : Эталон Прибор, 2007. – Режим доступа: [w.w.w.etalonpribor.com.ua](http://w.w.w.etalonpribor.com.ua).

44. Організація моніторингу режимів енергооб'єднання України та нові можливості розв'язання задач диспетчерського керування / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, О. Ф. Буткевич [та ін.] // Наука та інновації. – 2009. – Т. 5, № 6. – С. 25–35.

45. Чунихин А. А. Электрические аппараты высокого напряжения : в тт. – Т. 2. Справочник. / А. А. Чунихин. – М. : ИНФОРМЭЛЕКТРО, 1996. – 211 с.

46. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2009. – 392 с.

47. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения / под ред. В. В. Афанасьева. – Л. : Энергоатомиздат, 1987. – 544 с.

48. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования : учеб. пособие для вузов / Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

49. Афанасьев В. В. Приводы к выключателям и разъединителям высокого напряжения / В. В. Афанасьев, Э. Н. Якунин. – Л. : Энергоатомиздат, 1982. – 224 с.

50. Аметистов Е. И. Основы современной энергетики / под общей редакцией чл.-корр. РАН Е. И. Аметистова. – М. : Издательство МЭИ, 2004. – 822 с.

51. Зелінський В. Ц. Фізичні основи електричних апаратів : навчальний посібник / В. Ц. Зелінський. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 134 с.

52. Свешников В. И. Оптимизация надежности электрических сетей энергосистем / В. И. Свешников. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 312 с.

53. Назаричев А. Н. Удосконалювання системи ремонтів електроустановок електростанцій і підстанцій з урахуванням технічного

стану: Дис. д-ра техн. наук: 05.14.02 Іваново, 2005 390 с. РГБ ОД, 71:06-5/256.

54. Эксплуатация оборудования высоковольтных электрических сетей. Модели оценки состояния оборудования и оптимизация ремонтно-восстановительных процессов : учеб. пособие / А. Г. Фишив, В. Г. Фишив, В. А. Горевой [и др.]. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 117 с.

55. Кутін В. М. Діагностика електрообладнання : навч. посібник / В. М. Кутін, М. О. Ілюхін, М. В. Кутіна. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 161 с.

56. Кутін В. М. Вдосконалення методів діагностування високовольтних вимикачів / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 1. – С. 109–113.

57. Maricel ADAM. Monitoring and diagnostic system for high voltage circuit breakers / Maricel Adam, Adrian Baraboi, Catalin Pancu // International conference on electromechanical and power systems. – Moldova, 2007. – P. 55–60

58. Мокін Б. І. Моделі та системи технічної діагностики високовольтних вимикачів / Б. І. Мокін, В. В. Грабко. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 74 с.

59. J. Janssen, W. Degen, C. R. Heising, H. Bruvik, E. Colombo, W. Lanz, P. Fletcher, G. Sanchis. A summary of the final results and conclusions of the second international enquiry on the reliability of high voltage circuit breakers. Paper 13.202, CIGRE, 1994.

60. Методические указания по определению расхода коммутационного ресурса выключателей при эксплуатации. – М. : ОРГРЭС. – 1992. – 19 с.

61. Техническая эксплуатация электрических станций и сетей правила: ГКД 34.20.507-2003. – Офіц. вид. – К. : ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України. 2003. – 354 с. – (Керівний документ Мінпаливенерго України).

62. Лежнюк П. Д. Розширення можливостей мікропроцесорних пристроїв контролю характеристик вимикачів / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, Ю. В. Антонюк // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету – 2004. – № 2(25). – С. 119–121.

63. Кутін, В. М. Визначення діагностичних параметрів оцінки технічного стану високовольтного вимикача [Текст] / Кутін В. М., Рубаненко О. Є., Мисенко С. В. // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – № 3. – С. 33–39.

64. Кутін В. М. Визначення технічного стану елегазових високовольтних вимикачів в умовах експлуатації / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко // Вісник НТУ «ХП». – 2014. – № 60 (1102). – С. 57–68.

65. Кутін В. М. Особливості експлуатації та випробовувань елегазових вимикачів / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко // Контроль і управління в складних системах (КУСС–2012) : тези доповідей XI Міжнародної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – С. 159.

66. Кутін В. М. Комплексний метод визначення технічного стану елегазових високовольтних вимикачів / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко // Kluczowe aspekty naukowej działalności – 2015 : materiały XI międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji 07–15 stycznia 2015 roku. – Przemysł : Nauka i studia, 2015. – S. 60–64.

67. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учеб. для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов / Л. А. Бессонов. – 7-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1978. – 528 с.

68. Кутін В. М. Вдосконалення методів діагностування високовольтних вимикачів / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 1. – С. 1–7.

69. Руководство по эксплуатации. LTB 72,5-170 D1/B. Приводной механизм BLG 1002A однополюсный. 1HSB439954-3 ru.- 2011-11-30.

70. Pancu C. Study on kinematics characteristics of switchgears using artificial intelligence / C. Pancu, A. Varaboi, M. Adam // The Vth International WESC. – Oradea, Romania, 2004. – P. 342–345,

71. Артоболевский И. И. Структура, кинематика и кинестатика многозвеньевых плоских механизмов / И. И. Артоболевский. – місто : ГОНТИ, 1939. – 286 с.

72. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – М. : ЭНАС, 2005. – 320 с.

73. Галузевий нормативний документ ГНД. Інструкція з експлуатації елегазових вимикачів. – К. : ГРІФРЕ, 2004. – 39 с.

74. Алиев И. И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию / И. И. Алиев. – 3-е изд. – М. : Высшая школа, 2002. – 255 с.

75. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 1990.

76. Аракелян В. Г. Физическая химия элегазового электротехнического оборудования / В. Г. Аракелян. – М. : Изд. МЭИ, 2002. – 289 с.

77. Аракелян В. Г. Элегазовое электротехническое оборудование. Технические требования к производству для обеспечения качества элегаза в оборудовании и меры обеспечения санитарно-гигиенической и экологической безопасности. РД – 16.066 – 05. 2004 г.

78. Силовой выключатель 3AP2 F1. Руководство по эксплуатации № 927 00687 512 А. / Schaltwerk Hochspannung Berlin. – Берлин : Siemens AG, 2002. – 32 с.

79. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения / Н. М. Адоньев, В. В. Афанасьев, И. М. Бортник и др. ; под. ред. В. В. Афанасьева. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд., 1987. – 544 с.

80. Выключатели переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия: ГОСТ 687-78. – [Дата введения сентябрь 2001 г.]

81. Аракелян В. Г. Предотвращение конденсации влаги в элегазовых электроаппаратах / В. Г. Аракелян. // Электротехника. – 1981. – № 4. – С. 48–50.

82. Кутін В. М. Дослідження впливу складу элегазу на струм тестового сигналу пристрою контролю швидкісних характеристик висковольтних вимикачів / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 2. – С. 93–94.

83. Мельник В. В. Организация обслуживания элегазового оборудования / В. В. Мельник, В. Л. Таловерья, С. В. Мисенко // Электрические сети и системы. – 2010. – № 5. – С. 47–50.

84. Factor controlling surface flashover in SF<sub>6</sub> gas insulated systems / T. Nitta, Y. Shibuya, Y. Fujiwara [e. o.] // IEEE Trans, on power apparatus and syst. – 1978. – V. PAS-97, No. 3. – P. 959–965.

85. Полтеев А. И. Конструкции и расчет элегазовых аппаратов высокого напряжения / А. И. Полтеев. – Л. : Энергия, 1979. – 240 с.

86. Кутін, В. М. Дослідження впливу складу елегазу на параметри високовольтних вимикачів / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко // IV міжнародна науково-технічна конференція Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах 2012 – С. 185–186.

87. Свиргун П. М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения / П. М. Свиргун. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 275 с.

88. Сатин В. Б. Методы контроля состояния коммутационных аппаратов / В. Б. Сатин // сборник методических пособий по контролю состояния оборудования электрических сетей / под. ред. Ф. Л. Когана. – М. : СПО ОРГРЕС, 1997. – Раздел 4/

89. Патент № 93700 Україна, МПК H02J 3/24 (2006.01). пристрій для визначення швидкісних характеристик високовольтних вимикачів / Кутін В. М., Рубаненко О. Є., Мисенко С. В. – № u201405109 ; заявл. 14.05.2014 ; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19.

90. Визначення технічного стану елементів приводу елегазових вимикачів / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, Л. К. Поліщук, С. В. Мисенко // Naukowa przestrzeń europy – 2014 : materiały X międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji. – Przemysł : Nauka i stud, 2014. – С. 44–54.

91. Laietal M. L. Mechanical failure detection of circuit breakers / M. L. Laietal // IEEE Trans. Power Delivery. – 1988. – V. 3. – P. 1724– 1731.

92. Рожкова Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л. Д. Рожкова В. С. Козулин. – М. : Энергоиздат, 1987.

93. Силовой выключатель ЗАР2 F1. Руководство по эксплуатации. Заказ №. 927 00687 512 А. / Schaltwerk Hochspannung Berlin. – Берлин : Siemens AG, 2002. – 32 с.

94. New approach regarding the kinematics characteristics analysis of circuit breakers / Maricel Adam, ADRIAN BARABOI, CATALIN PANCU, SORIN PISPIRIS; Power Systems Department, Faculty of Electrical Engineering «Gh. Asachi» Technical University 51–53 s.

95. Чернышев Н. А. Аппаратура и метод раннего обнаружения дефектов в механизмах высоковольтных выключателей / Н. А. Чернышев, А. Л. Ракевич // Электрические станции. – 2004. – № 11.

96. Рубаненко О. Є. Вплив вібрації контактів на подальшу роботу високовольтних вимикачів / О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко, О. О. Рубаненко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2013. – № 1 (69). – С. 72–77.

97. Кутін В. М. Оптимізація параметрів пристрою контролю швидкісних характеристик високовольтних вимикачів / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика». – 2013. – № 2 (15). – С. 141–146.

98. Лежнюк, П. Д. Методи оптимізації в електроенергетиці. Критеріальний метод : навчальний посібник / П. Д. Лежнюк, С. В. Бевз. – Вінниця : ВДТУ, 1999. – 177 с.

99. Основи теорії планування експерименту. Лабораторний практикум / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, Ю. В. Лук'яненко. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 167 с.

100. Основи метрології та вимірювальної техніки : у 2 т. / М. Дорожець, В. Мотало, Б. Стадник [та ін.] ; за ред Б. Стадника. – Львів : Національного університет «Львівська політехніка», 2005. – Т. 1: Основи метрології, 2005. – 530 с.

101. Журахівський А. В. Основи наукових досліджень та технічної творчості : навч. посібник / А. В. Журахівський, Ю. В. Варецький, З. М. Бахор ; за редакцією І. В. Жежеленка. – Маріуполь : Приазовський Державний Технічний університет, 2000. – 138 с.

102. Гуменюк О. І. Комп'ютерна система оцінки стану високовольтних вимикачів / О. І. Гуменюк, О. Є. Рубаненко // Новини енергетики. – 2002. – № 8.

103. Сопель М. Ф. До визначення залишкового ресурсу елегазових високовольтних вимикачів 750 кВ / М. Ф. Сопель, В. Л. Тутик, А. В. Панов, Ю. В. Пилипенко // Праці інституту електродинаміки Національної академії наук України : науковий збірник. – 2007. – Частина 1, № 1(16). – С. 136–139.

104. Руководство по эксплуатации устройства проверки параметров высоковольтных выключателей «РЕКОН–08ВВ» (версия 7.64). [Электронный ресурс]. – Донецк : РЕКОН, 2010. – Режим доступа: w.w.w.recon.dn.ua.

105. Контроль элегазовых выключателей приборами «СКБ электротехнического приборостроения» // Энергетик. – 2008. – № 11.

106. Рубаненко О. Є. Мікропроцесорні пристрої контролю часових характеристик повітряних вимикачів високої напруги / О. Є. Рубаненко, О. І. Гуменюк // Новини енергетики. – 2004. – № 10. – С. 50–56.

107. Чумаченко І. В. Мікроконтролерні прилади: структура і використання : навч. посібник / І. В. Чумаченко, М. Д. Кошовий, В. В. Лопатин. – Харків : Нац. Аерокосмічний ун-т «ХАШ», 2001. – 277 с.

108. Кутін В. М. Вдосконалення ком'ютерних систем діагностування элегазових вимикачів / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко / Науковий вісник Чернівецького університету. Серія: «Комп'ютерні системи та компоненти». – 2014. – Т. 2, № 71. – С. 76–84.

109. Микропроцессорные системы : учебное пособие для вузов / Е. К. Александров, Р. И. Грушвицкий, М. С. Куприянов [и др.] ; под общ. ред. Д. В. Пузанкова. – СПб. : Политехника, 2002. – 935 с.

110. Катцен С. PIC – микроконтролеры. Все что вам необходимо знать / С. Катцен ; пер. с англ. А. В. Евстифеева. – М. : Додэкеа–XXI, 2008. – 656 с.

111. Изоботенко Б. А. Планирование эксперимента в электротехнике / Б. А. Изоботенко, Н. Ф. Ильинский, И. П. Копылов. – М. : Энергия, 1975. – 202 с.

112. Новицкий П. В. Оценка погрешности результатов измерения / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – [2-е изд.] – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние, 1991. – 304 с.

113. Бешелев С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Статистика, 1980. – 263 с.

114. Коваленко Н. И. Теория вероятностей и математическая статистика / Н. И. Коваленко, А. А. Филиппова. – М. : Высшая школа, 1982. – 252 с.

115. Тартаковський Д. Ф. Метрологія, стандартизація і технічні засоби вимірювання / Д. Ф. Тартаковський, А. С. Ястребов. – М. : Высш. шк., 2001. – 205 с.

116. Економіка підприємства : підручник для студ. вузів, обуч. по економічних спеціальностей / Зростав. екон. акад. ім. Г. В. Плеханова; під ред. О. Волкова. – М. : ІНФРА-М, 2000. – 518 с.

117. Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику. Методика. Енергосистеми і електричні мережі : ГКД 340.000.002. – Офіц. вид. – К. : ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України. 1997. – 34 с. – ( Керівний документ Мінпаливенерго України).

118. Кутін В. М. Економічний ефект від впровадження діагностичного комплексу високовольтних вимикачів / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко // Електротехнічні системи, електрифікація й автоматизація в агропромисловому комплексі : матеріали першої всеукраїнської науково-технічної конференції. – Вінниця, 2014.

119. Пласкова Н. С. Экономический анализ : учебник / Н. С. Пласкова. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Эксмо, 2009. – 704 с.



*Наукове видання*

**Кутін Василь Михайлович  
Рубаненко Олександр Євгенійович  
Мисенко Сергій Васильович**

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДІАГНОСТУВАННЯ  
ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено О. Рубаненком.

Підписано до друку 14.03.2018 р.

Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.

Гарнітура Times New Roman.

Друк різнографічний. Ум. др. арк. 7,16.

Наклад 300 (1-й запуск 1–75) пр. Зам № В2018-06

Вінницький національний технічний університет,  
ІРВЦ ВНТУ,

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Тел. (0432) 65-18-06.

**press.vntu.edu.ua**; *email*: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.

21021, м. Вінниця, вул. Порики, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.