

ЗАЙЦЕВ Є.О., КУЧАНСЬКИЙ В.В., ГУНЬКО І.О.

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ТА ЕЛЕКТРОУСТАКОВАННЯ

Монографія —————



2021



**EUROPEAN
SCIENTIFIC
PLATFORM**

ЗАЙЦЕВ Є.О., КУЧАНСЬКИЙ В.В., ГУНЬКО І.О.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ НАН УКРАЇНИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ТА ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ

МОНОГРАФІЯ

Вінниця
«Європейська наукова платформа»
2021

Рецензенти:

Денисюк Сергій Петрович

доктор технічних наук, професор,
директор інституту енергозбереження та енергоменеджменту
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Козирський Володимир Вікторович

доктор технічних наук, професор,
заслужений діяч науки і техніки України,
завідувач кафедри електропостачання ім. проф. В.М. Синькова
Національного університету біоресурсів і природокористування України

*Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту електродинаміки НАН України
(протокол N4 від 29 квітня 2021 року)*

Зайцев Є.О.

З 12

Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроустановок : монографія / Є.О. Зайцев, В.В. Кучанський, І.О. Гунько. — Вінниця : ГО «Європейська наукова платформа», 2021. — 156 с.

ISBN 978-617-7991-77-8

DOI 10.36074/penereme-monograph.2021

В монографії викладені теоретичні та практичні питання підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроустановок енергетичної системи. Проаналізовано сучасний стан електроенергетичного устаткування ОЕС України. Наведено принципи побудови забезпечення ефективної, надійної та безпечної роботи електричних мереж та електроенергетичного устаткування, а також забезпечення ефективної, надійної та безпечної роботи електричних мереж та електроенергетичного устаткування. Розроблено засоби контролю та діагностування основного та допоміжного електрообладнання електроенергетичних мереж.

Призначена для наукових та інженерно-технічних співробітників, які займаються проектуванням, виготовленням та експлуатацією контрольно-діагностичного обладнання потужних турбогенераторів.

УДК 621.311.1

ISBN 978-617-7991-77-8

© Зайцев Є.О., Кучанський В.В., Гунько І.О., 2021
© ГО «Європейська наукова платформа», 2021

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1.	
АНАЛІЗ СТАНУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ОЕС УКРАЇНИ.....	8
1.1 Аналіз сучасного стану електроенергетичного устаткування	9
1.1.1 Фотоелектричні станції	9
1.1.2 Гідроелектростанції.....	11
1.1.3 Електричні мережі	15
1.1.3.1 Дослідження пошкоджуваності повітряних та кабельних ЛЕП в ЛЕС	16
1.1.3.2 Дослідження пошкоджуваності трансформаторних підстанцій та	
розподільних пунктів.....	21
Висновки до першого розділу	23
РОЗДІЛ 2.	
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ, НАДІЙНОЇ ТА БЕЗПЕЧНОЇ РОБОТИ	
ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО УСТАТКУВАННЯ.....	25
2.1 Аналіз умов розвитку та виникнення внутрішніх перенапруг в магістральних	
електричних мережах.....	26
2.1.1 Оцінка впливу залишкового намагнічування автотрансформатора на	
умови виникнення резонансних перенапруг на другій гармоніці.....	26
2.1.2 Розроблення альтернативних заходів обмеження резонансних перенапруг	32
2.1.3 Аналіз ефективності застосування технічних засобів компенсації	
реактивної потужності для запобігання резонансних перенапруг в	
несиметричних режимах	34
2.2 Аналіз впливу фотоелектричних станцій на режими роботи електричних	
мереж	38
2.3 Заходи та технічні засоби для підвищення ефективності та надійності ліній	
електропередавання надвисокої напруги	48
2.3.1 Умови появи аперіодичної складової струму в електромагнітних	
перехідних процесах.....	50
2.3.2 Порівняльний аналіз засобів та технічних заходів ліквідації й обмеження	
аперіодичної складової струму.....	51
2.3.3 Моделювання електромагнітних перехідних процесів при трифазному	
автоматичному повторному включенні лінії електропередавання надвисокої	
напруги.....	62
Висновки до другого розділу.....	64
РОЗДІЛ 3.	
ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ	
РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ	67
3.1 Застосування керованих пристроїв компенсації реактивної потужності для	
підвищення ефективності експлуатації ліній електропередавання	68
3.2 Визначення впливу розподіленого генерування на функціонування локальної	
електричної системи і формування умов оптимальності її режимів	74
3.2.1 Математична модель для визначення оптимальних за втратами	
електроенергії місць потягорозділу в ЕМ з РГ.....	74

3.2.2 Визначення зон нечутливості відхилень оптимальних точок потокорозділу до потужності навантаження і генерування РДЕ	76
3.3 Розробка засобів оптимального керування режимом роботи ЕМ з РДЕ	80
Висновки до третього розділу	88

РОЗДІЛ 4.

ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ УСТАТКУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ	90
4.1 Аналіз несправностей обертового генеруючого обладнання.....	91
4.2 Засоби контролю та діагностування допоміжного електрообладнання електроенергетичних мереж.....	96
4.3 Розробка засобів контролю та діагностування повітряного зазору обертового генеруючого електрообладнання	102
4.3.1 Гібридні системи діагностування повітряного зазору гідрогенераторів.....	102
4.3.2 Визначення функції перетворення ємнісного сенсора повітряного зазору з двома робочими компланарними паралельними електродами	105
4.3.3 Аналітичне визначення похибок ємнісного сенсора повітряного зазору з двома робочими компланарними паралельними електродами	109
4.3.3.1 Похибка від перекосу площини електродів сенсора відносно твірної циліндричної поверхні розточення осердя статора	109
4.3.3.2 Похибка, зумовлена кривизною поверхні розточення осердя статора	113
4.3.4 Дослідження впливу температури робочого середовища на функцію перетворення ємнісного сенсора.....	114
4.3.5 Порівняння результатів дослідження моделі сенсора з результатами аналітичних розрахунків.....	116
4.3.6 Комп'ютеризована система діагностування повітряного зазору з компланарним ємнісним вимірювачем.....	117
4.4 Розробка оптоелектронних засобів контролю та діагностування коронного розряду ліній електропередавання.....	119
4.4.1 Система контролю та діагностування коронного розряду ліній електропередавання.....	119
4.4.2 Експериментальний зразок вимірювальної системи коронного розряду з оптичними чутливими елементами.....	122
Висновки до четвертого розділу	124
ВИСНОВКИ	126
ПОСИЛАННЯ	130

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

FACTS	– Flexible AC Transmission Systems
АП	– аномальні перенапруги
ВМ	– вимірювальні системи
ГСПЗС	– гнучка система передачі змінним струмом
ЕС	– електрична система
ЗП	– зарядна потужність
КЗ	– коротке замикання
КР	– компенсаційний реактор
КШР	– керований шунтувальний реактор
ЛЕП	– лінія електропередавання
ЛЕП НВН	– лінія електропередавання надвисокої напруги
НР	– неповнофазний режим
ОАПВ	– однофазне автоматичне повторне включення
ОЕС	– об'єднана енергосистема
ПА	– протиаварійна автоматика
ПС	– підстанція
СТАТКОМ	– статичний синхронний компенсатор реактивної потужності
ШР	– шунтувальний реактор

ВСТУП

Об'єднана енергосистема України є складною системою, яка у своєму складі містить різні типи електростанцій, електричних і теплових мереж, інших об'єкти електроенергетики, що об'єднані спільним режимом виробництва, передавання та розподілу електричної й теплової енергії за їх централізованого керування. Основою виробництва електроенергії в ОЕС України на сьогодні залишаються атомні електростанції, які генерують понад 50% всього енерговиробітку в Україні та покривають потреби в базовому енергоспоживанні. Пікові навантаження покривають ГЕС, ГАЕС та інші, що володіють маневреністю і мобільністю, тобто швидкими пуском і зупинкою.

Стрімке зростання тарифів на електричну енергію спонукає не лише представників середнього та малого бізнесу, а і населення України використовувати сонячні теплові колектори, фотоелектричні модулі, сонячні електричні станції, сонячні теплові електричні станції, малі, міні та мікро гідроелектростанції (ГЕС), когенераційні установки, вітрові електричні станції і т. п. [1]. Використання власних відновлювальних джерел енергії споживачами зменшує споживання вартісної електроенергії від центрів живлення. Існуючі в наш час тарифи на генеровану такими активними споживачами (АС) електроенергію, а також заходи з пільгового кредитування заохочують споживачів впроваджувати в себе ВДЕ [2] з використанням вбудованих в них штатних SMART вимірювальних, облікових та діагностичних систем, SMART систем релейного захисту та автоматики. Останнє створює умови для: гнучкого регулювання рівнів вузлових напруг як показників якості електричної енергії; керування напрямками та значеннями струмів у лінійних і трансформаторних вітках схеми розподільних мереж та уникнення їх аварійних перевантажень; зменшення частки вартості традиційних видів палива у вартості електроенергії, відпущеної споживачам; зменшення впливу традиційних джерел електроенергії на екологію за рахунок зменшення їх генерування, зменшення вартості виробленої споживачами продукції за рахунок зменшення витрат на спожиту від центру живлення електроенергію [3]. Також факторами, які сприяють розбудови ЕС та все ширшому впровадженню розподілених джерел живлення (РДЕ), є їхня екологічна привабливість. З іншого боку виробіток енергії з ВДЕ залежність від

природних факторів, що призводить до недостатньої потужності в мережі. Враховуючи останнє, не зважаючи на енергетичну стратегію України, яка має на меті збільшення частки ВДЕ в загальному обсязі генерації, актуальним є питання не тільки забезпечення збільшення частки ВДЕ, але і забезпечення надійної та безпечної експлуатації традиційних джерел генерації електричної енергії.

Реалізація перерахованих переваг значною мірою залежить від можливостей в передавання виробіток електроенергії до споживачів. Основою такого передавання є лінії електропередавання (ЛЕП). Ефективність роботи ЛЕП значною мірою залежить від надійної роботи її елементів: від схеми РЕМ, від можливості резервування, від місць встановлення та оптимального використання комутаційних апаратів (секційних роз'єднувачів, вимикачів, реклоузерів), засобів автоматики, збору, фіксації та передачі інформації про параметри режиму роботи ЕС та місце пошкодження в ЛЕП.

Відомо [4], що більше половини загальних витрат на електропостачання споживачів ЕС становлять витрати на будівництво та експлуатацію розподільних ліній електропередавання 6–10 і 0,4 кВ. Тому з економічних міркувань ці лінії часто споруджують повітряними, у яких 70–80% вартості становить вартість будівельної частини. Ефективними шляхами зниження витрат на електропостачання є скорочення протяжності ЛЕП, удосконалення методів механічного розрахунку проводів і опор, застосування нових матеріалів.

Представлені результати досліджень у монографії висвітлюються проблеми, які насамперед пов'язані з сучасним станом енергетичним обладнання об'єднаної енергосистеми України. Приведені основні заходи та засоби, що дозволяють забезпечити прогнозоване виробництво та надійне постачання електроенергії до споживача.

від авторів:

Зайцев Є.О., Кучанський В.В., Гунько І.О.

Доступ до повного тексту видання в електронному вигляді закрито з ініціативи авторів.

Друковані примірники можна знайти тут:

- Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського (м. Київ, вул. Голосіївська, 3)**
- Національна бібліотека України імені Ярослава Мудрого (м. Київ, вул. Грушевського Михайла, 1)**

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ЗАЙЦЕВ Євген Олександрович
КУЧАНСЬКИЙ Владислав Володимирович
ГУНЬКО Ірина Олександрівна

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ
ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ
МЕРЕЖ ТА ЕЛЕКТРОУСТАКОВАННЯ**

МОНОГРАФІЯ

*Верстка: Білоус Т.В.
Дизайн: Бондаренко І.В.*

Підписано до друку 10.10.2021. Формат 60×84/16.

Умовно-друк. арк. 9,07. Тираж: 50 примірників.

Замовлення № 24429. Цифровий друк.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.

Віддруковано з готового оригінал-макету.

Видавець: ГО «Європейська наукова платформа»
21037, Україна, м. Вінниця, вул. Зодчих, 18, офіс 81
Телефони: +38 098 1948380; +38 098 1956755 | E-mail: info@ukrlogos.in.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК № 7172 від 21.10.2020 р.

Виготовлювач друкованої продукції: Друкарня ФОП Гуляєва В.М.
08700, Україна, м. Обухів, вул. Малишка, 5. E-mail: 5894939@gmail.com
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК № 6205 від 30.05.2018 р.