МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ»

для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G3 «Електрична інженерія» освітніх програм «Електротехнічні системи електроспоживання» та «Енергоефективність та керування енергоспоживанням» денної та заочної форм навчання

Кропивницький 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ»

для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G3 «Електрична інженерія» освітніх програм «Електротехнічні системи електроспоживання» та «Енергоефективність та керування енергоспоживанням» денної та заочної форм навчання

Затверджено
на засіданні кафедри
електротехнічних систем та
енергетичного менеджменту
протокол № 4 від 21.10.2026 р.

Кропивницький 2026

Оперативно-диспетчерське керування електроенергетичними системами : методичні рекомендації до самостійної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G3 «Електрична інженерія» освітніх програм «Електротехнічні системи електроспоживання» та «Енергоефективність та керування енергоспоживанням» денної та заочної форм навчання / уклад. В. В. Зінзура, В. П. Солдатенко, С. І. Осадчий. Кропивницький : ЦНТУ, 2026. 58 с.

Укладачі:
В. В. Зінзура – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту
В. П. Солдатенко – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту
С. І. Осадчий – доктор техн. наук, професор, професор кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рецензент:
А. М. Мацуй – доктор техн. наук, професор, професор кафедри АВП

У методичних рекомендаціях наведено зміст і порядок самостійної роботи з навчальної дисципліни «Оперативно-диспетчерське керування електроенергетичними системами» за вісьмома темами двох змістових модулів: питання для самостійного опрацювання з посиланнями на пункти конспекту лекцій, аналітичні й розрахункові завдання, теми доповідей-презентацій і зв’язок з розширеними завданнями віртуальних лабораторних робіт. Окремо подано вимоги до контрольної роботи для заочної форми навчання та перелік питань до заліку. Наведено обсяг самостійної роботи, графік подання результатів і критерії нарахування балів відповідно до робочої програми дисципліни. Призначено для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G3 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання.

© Зінзура В. В., Солдатенко В.П.
Осадчий С. І., 2026
© Центральноукраїнський національний технічний університет, 2026

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 6
ВСТУП 10
ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ 12
Обсяг і види самостійної роботи 12
Навчальні ресурси 12
Порядок роботи над темою 13
Оформлення та подання звітів 13
Доповідь-презентація 14
Оцінювання самостійної роботи 14
Графік самостійної роботи 15
ТЕМА 1. ОЕС УКРАЇНИ ЯК ОБ'ЄКТ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ 16
1.1 Питання для самостійного опрацювання 16
1.2 Завдання для самостійної роботи 16
1.3 Розширене завдання лабораторної роботи 1 18
ТЕМА 2. ПРАВОВІ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНІ ЗАСАДИ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ В УМОВАХ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ 19
2.1 Питання для самостійного опрацювання 19
2.2 Завдання для самостійної роботи 20
2.3 Розширене завдання лабораторної роботи 2 21
2.4 Доповідь-презентація 21
ТЕМА 3. ПЛАНУВАННЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ 23
3.1 Питання для самостійного опрацювання 23
3.2 Завдання для самостійної роботи 23
3.3 Розширене завдання лабораторної роботи 3 24
ТЕМА 4. ОПЕРАТИВНЕ КЕРУВАННЯ РЕЖИМОМ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ 25
4.1 Питання для самостійного опрацювання 25
4.2 Завдання для самостійної роботи 25
4.3 Розширене завдання лабораторної роботи 4 27
ТЕМА 5. АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ РЕЖИМОМ І ПРОТИАВАРІЙНА АВТОМАТИКА 28
5.1 Питання для самостійного опрацювання 28
5.2 Завдання для самостійної роботи 28
5.3 Розширене завдання лабораторної роботи 5 30
ТЕМА 6. ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКЕ КЕРУВАННЯ В СИСТЕМАХ РОЗПОДІЛУ 31
6.1 Питання для самостійного опрацювання 31

6.2 Завдання для самостійної роботи 31
6.3 Розширене завдання лабораторної роботи 6 33
ТЕМА 7. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ 35
7.1 Питання для самостійного опрацювання 35
7.2 Завдання для самостійної роботи 35
7.3 Розширене завдання лабораторної роботи 7 39
7.4 Доповідь-презентація 39
ТЕМА 8. ПРОГРАМНІ ФУНКЦІЇ SCADA/EMS/ADMS ТА ПІДТРИМКА ОПЕРАТИВНИХ РІШЕНЬ 41
8.1 Питання для самостійного опрацювання 41
8.2 Завдання для самостійної роботи 41
8.3 Розширене завдання лабораторної роботи 8 43
КОНТРОЛЬНА РОБОТА (ЗАОЧНА ФОРМА НАВЧАННЯ) 44
Мета і тема контрольної роботи 44
Зміст і обсяг контрольної роботи 44
Подання, захист і оцінювання 45
ПІДГОТОВКА ДО ЗАЛІКУ 46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 50
ДОДАТОК А ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОГО АРКУША ЗВІТУ 57

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АВР	–	автоматичне ввімкнення резерву
АЕС	–	атомна електростанція
АОПО	–	автоматика обмеження перевантаження обладнання
АПВ	–	автоматичне повторне ввімкнення
аРВЧ	–	автоматичний резерв відновлення частоти
АРЗ	–	автоматичний регулятор збудження
АСДК	–	автоматизована система диспетчерського керування
АСК ТП	–	автоматизована система керування технологічним процесом
АЧП	–	автоматичний частотний пуск
АЧР	–	автоматичне частотне розвантаження
БСК	–	батарея статичних конденсаторів
ВДЕ	–	відновлювані джерела енергії
ВЕС	–	вітрова електростанція
ГАВ	–	графік аварійних відключень
ГАЕС	–	гідроакумулювальна електростанція
ГЕС	–	гідроелектростанція
ГОЕ	–	графік обмеження споживання електричної енергії
ГОП	–	графік обмеження споживання електричної потужності
ГПВ	–	графік погодинних відключень
ДП	–	допоміжні послуги
ЕЕС	–	електроенергетична система
ЕТС та ЕМ	–	електротехнічні системи та енергетичний менеджмент (кафедра)
ЄС	–	Європейський Союз
ЗАЧР	–	захисна черга автоматичного частотного розвантаження
ЗН	–	заземлювальний ніж
КЗ	–	коротке замикання
КСП	–	Кодекс системи передачі
ЛР	–	лабораторна робота
МЕК	–	Міжнародна електротехнічна комісія
НКРЕКП	–	Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг
ОВБ	–	оперативно-виїзна бригада
ОДК	–	оперативно-диспетчерське керування

ОДС	–	оперативно-диспетчерська служба (району електричних мереж)
ОЕС України	–	Об’єднана енергетична система України
ОІК	–	оперативно-інформаційний комплекс
ОРУ	–	відкрита розподільна установка
ОСП	–	оператор системи передачі
ОСР	–	оператор системи розподілу
ПА	–	протиаварійна автоматика
ПЗ	–	переносне заземлення
ППБ	–	постачальник послуг з балансування
ПС	–	підстанція
РДН	–	ринок «на добу наперед»
РЕМ	–	район електричних мереж
РЗ	–	резерв заміщення
РПН	–	регулювання напруги під навантаженням
РПЧ	–	резерв підтримки частоти
рРВЧ	–	ручний резерв відновлення частоти
САВН	–	спеціальна автоматика відключення навантаження
САЧР	–	спеціальна черга автоматичного частотного розвантаження
СВБ	–	сторона, відповідальна за баланс
СГАВ	–	спеціальний графік аварійних відключень
СЕС	–	сонячна електростанція
СРС	–	самостійна робота студентів
СТК	–	статичний тиристорний компенсатор
ТЕС	–	теплова електростанція
ТЕЦ	–	теплоелектроцентраль
УЗЕ	–	установка зберігання енергії
ЦДС	–	центральна диспетчерська служба (ОСР)
ЦНТУ	–	Центральноукраїнський національний технічний університет
ЧАПВ	–	частотне автоматичне повторне ввімкнення
ШІ	–	штучний інтелект
ACE	–	помилка регулювання зони (Area Control Error)
ADMS	–	вдосконалена система керування розподільними мережами (Advanced Distribution Management System)
APDU	–	блок даних прикладного протоколу (Application Protocol Data Unit)

ASDU	–	блок даних прикладного рівня (Application Service Data Unit)
CIM	–	загальна інформаційна модель (Common Information Model)
DMS	–	система керування розподільними мережами (Distribution Management System)
EENS	–	очікувана недопоставлена електроенергія (Expected Energy Not Served)
EMS	–	система керування енергосистемою (Energy Management System)
ENTSO-E	–	Європейська мережа операторів систем передачі електроенергії (European Network of Transmission System Operators for Electricity)
FLISR	–	локалізація пошкодження, ізоляція та відновлення живлення (Fault Location, Isolation and Service Restoration)
GNSS	–	глобальна навігаційна супутникова система (Global Navigation Satellite System)
GOOSE	–	загальна об’єктно-орієнтована подія підстанції (Generic Object Oriented Substation Event)
ICCP	–	протокол обміну даними між центрами керування (Inter-Control Center Communications Protocol)
IED	–	інтелектуальний електронний пристрій (Intelligent Electronic Device)
IPS/UPS	–	синхронна зона енергосистем Росії, Білорусі та інших країн пострадянського простору (Integrated Power System / Unified Power System)
JAO	–	спільна платформа європейських ОСП для розподілу пропускної спроможності (Joint Allocation Office)
LODF	–	коефіцієнт розподілу при відключенні вітки (Line Outage Distribution Factor)
LOLE	–	очікувана втрата навантаження (Loss of Load Expectation)
MAIFI	–	індекс середньої частоти коротких перерв в електропостачанні в системі (Momentary Average Interruption Frequency Index)
MAPE	–	середня абсолютна відсоткова похибка (Mean Absolute Percentage Error)
nMAE	–	нормована середня абсолютна похибка (normalized Mean Absolute Error)
OMS	–	система керування відключеннями (Outage Management System)

PMU	–	пристрій синхронізованих векторних вимірювань (Phasor Measurement Unit)
PTDF	–	коефіцієнт розподілу потужності (Power Transfer Distribution Factor)
PTP	–	протокол точного часу (Precision Time Protocol)
RoCoF	–	швидкість зміни частоти (Rate of Change of Frequency)
RTU	–	пристрій телемеханіки контрольованого пункту (Remote Terminal Unit)
SAIDI	–	індекс середньої тривалості довгих перерв в електропостачанні в системі (System Average Interruption Duration Index)
SAIFI	–	індекс середньої частоти довгих перерв в електропостачанні в системі (System Average Interruption Frequency Index)
SCADA	–	система диспетчерського контролю та збирання даних (Supervisory Control and Data Acquisition)
SDAC	–	єдине сполучення ринків «на добу наперед» (Single Day-Ahead Coupling)
SIDC	–	єдине сполучення внутрішньодобових ринків (Single Intraday Coupling)
STATCOM	–	статичний синхронний компенсатор (Static Synchronous Compensator)
TASE.2	–	служба прикладного рівня телемеханіки, версія 2 (Telecontrol Application Service Element 2)
TCP/IP	–	стек протоколів мережі Інтернет (Transmission Control Protocol / Internet Protocol)
WAMS	–	система моніторингу перехідних режимів (Wide Area Measurement System)
WLS	–	метод зважених найменших квадратів (Weighted Least Squares)

ВСТУП

Самостійна робота – основна форма опанування навчальної дисципліни «Оперативно-диспетчерське керування електроенергетичними системами»: на неї відведено 72 год із 120 у денній формі навчання і 114 год у заочній. Методичні рекомендації визначають зміст самостійної роботи за темами 1–8, порядок виконання завдань, вимоги до звітів і доповідей та нарахування балів відповідно до робочої програми дисципліни.

Рекомендації є частиною навчально-методичного комплексу дисципліни і не повторюють інших його видань. Теоретичний матеріал викладено в конспекті лекцій [1], порядок виконання лабораторних робіт і їхніх розширених завдань – у методичних рекомендаціях до лабораторних робіт [2], а самі роботи – віртуальні програми в системі Moodle [3]. Тому питання для самостійного опрацювання тут прив'язано до пунктів конспекту, а розширені завдання лабораторних робіт лише названо з посиланням на відповідний пункт методичних вказівок до них.

Розділ кожної теми починається з мети самостійної роботи, обсягу самостійної роботи й максимальних балів. Далі наведено:

– підрозділ «Питання для самостійного опрацювання» – питання теми з посиланнями на пункти конспекту лекцій;

– підрозділ «Завдання для самостійної роботи» – завдання теми, порядок його виконання і зміст звіту;

– підрозділ «Розширене завдання лабораторної роботи» – стислий опис і посилання на методичні рекомендації до лабораторних робіт;

– підрозділ «Доповідь-презентація» – орієнтовні теми доповідей (лише в темах 2 і 7);

– рекомендовані джерела.

Загальні правила – порядок роботи над темою, оформлення й подання звітів, вимоги до доповідей, оцінювання та графік самостійної роботи – викладено в розділі «Загальні рекомендації до самостійної роботи». Вимоги до контрольної роботи для заочної форми навчання і перелік питань до заліку наведено в окремих розділах.

Таблиці й формули нумеруються в межах теми: таблиця 2.1, формула (1.1). На пункти, таблиці й формули конспекту лекцій посилаються так: [1,

п. 1.2], [1, табл. 1.1], [1, формула (1.4)]; на пункти методичних вказівок до лабораторних робіт – [2, п. 1.1.7].

ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Обсяг і види самостійної роботи

Обсяг самостійної роботи становить 9 год на кожну тему в денній формі навчання (усього 72 год) і 14,5 год у заочній (у темі 8 – 12,5 год, усього 114 год). На одну тему години розподілено так (денна / заочна форма):

– опрацювання лекційного матеріалу та літератури – 3 / 7,5 год;

– підготовка до лабораторної роботи, а в заочній формі – її виконання й оформлення протоколу – 2 / 4 год (у темі 8 – 2 / 2 год);

– підготовка до тестування – 1 / 1 год;

– індивідуальне завдання: у денній формі – завдання для самостійної роботи й доповідь-презентація, у заочній – контрольна робота – 3 / 2 год.

У заочній формі завдання для самостійної роботи тем виконують у межах годин на опрацювання матеріалу, а 2 год кожної теми (разом 16 год) відведено на контрольну роботу. Самостійна робота охоплює також узагальнення й систематизацію вивченого матеріалу перед заліком.

Навчальні ресурси

Основні джерела для самостійної роботи – конспект лекцій [1], методичні рекомендації до лабораторних робіт [2] і віртуальні лабораторні роботи в курсі дисципліни в Moodle [3]; у курсі розміщено також завдання для подання звітів і протоколів та тести. Рекомендовані джерела наведено наприкінці розділу кожної теми; навчальну й наукову літературу можна знайти в електронному каталозі бібліотеки ЦНТУ [4] та інституційному репозитарії ЦНТУ [5].

Тексти законів і постанов НКРЕКП беріть з офіційного вебпорталу «Законодавство України» [6] і перевіряйте дату чинної редакції: Кодекс системи передачі, Кодекс систем розподілу та правила ринку змінюються кілька разів на рік. Актуальну інформацію про роботу енергосистеми й ринку оприлюднюють НЕК «Укренерго» [7], НКРЕКП [8], АТ «Оператор ринку» [9] та ENTSO-E [10].

Оперативні дані про роботу ОЕС України за воєнного стану мають обмежений доступ, тому в завданнях використовують довоєнну статистику, синтетичні дані віртуальних лабораторних робіт і відкриті аналітичні звіти.

Порядок роботи над темою

Самостійну роботу з теми рекомендовано виконувати в такій послідовності:

1. Опрацюйте пункти конспекту лекцій, наведені в таблиці питань для самостійного опрацювання, і дайте відповіді на запитання для самоконтролю наприкінці теми конспекту.

2. Підготуйтеся до лабораторної роботи за теоретичними відомостями й порядком виконання, наведеними в методичних рекомендаціях до лабораторних робіт [2]. Здобувачі заочної форми виконують ЛР1–ЛР7 самостійно й подають протоколи в Moodle.

3. Виконайте завдання для самостійної роботи і подайте звіт у Moodle. Розширене завдання лабораторної роботи виконуйте, якщо його задав викладач.

4. У темах 2 і 7 підготуйте доповідь-презентацію.

5. Пройдіть тест з теми в Moodle.

Номер варіанта завдання для самостійної роботи збігається з номером варіанта лабораторних робіт, який видав викладач.

Оформлення та подання звітів

Звіт про виконання завдання для самостійної роботи оформлюють на аркушах формату А4: шрифт Times New Roman 14 пт, міжрядковий інтервал 1,5, поля 20 мм; обсяг – 2–5 с. без титульного аркуша. Титульний аркуш оформлюють за зразком, наведеним у додатку А. Звіт містить:

– вихідні дані варіанта;

– виконання пунктів завдання з розрахунками, таблицями й рисунками (назву таблиці розміщують над нею, підпис рисунка – під ним);

– висновки;

– список використаних джерел, оформлений за ДСТУ 8302:2015 [11].

У тексті звіту на джерела посилаються номерами у квадратних дужках, наприклад [3, с. 25]. Нормативні документи наводять у чинній редакції, для електронних ресурсів зазначають дату звернення. Звіт подають у відповідне завдання курсу в Moodle одним файлом PDF з назвою «Прізвище_СРС_ТемаN» до терміну, зазначеного в графіку самостійної роботи.

Звіт виконують самостійно відповідно до Кодексу академічної доброчесності ЦНТУ: дослівні запозичення беруть у лапки й супроводжують посиланням, а звіт із запозиченнями без посилань не зараховують. Інструменти генеративного штучного інтелекту можна використовувати лише як допоміжні (пошук джерел, мовне редагування): факти й числа перевіряють за першоджерелами, а спосіб використання таких інструментів зазначають у звіті.

Доповідь-презентація

Доповідь-презентацію в денній формі навчання готують у темах 2 і 7. Тему вибирають з орієнтовного переліку (підрозділи 2.4 і 7.4) або пропонують власну за погодженням з викладачем; у межах групи теми не повторюються. Вимоги до доповіді:

– тривалість виступу – 8–10 хв, відповіді на запитання – до 5 хв;

– презентація – 10–12 слайдів: тема й автор, актуальність, основна частина, висновки, список джерел;

– не менше ніж п’ять джерел, переважно 2021–2026 рр.; нормативні документи – у чинній редакції;

– на слайдах – схеми, таблиці й графіки з посиланнями на джерела, а не суцільний текст.

Файл презентації у форматі PDF подають у Moodle не пізніше ніж за день до виступу. Доповідь оцінюють за критеріями робочої програми: 4 бали – змістовна доповідь на актуальних джерелах, якісна презентація, вичерпні відповіді на запитання; 3 бали – змістовна доповідь з окремими недоліками в презентації або відповідях; 2 бали – доповідь поверхова, відповіді на запитання неповні; 0 балів – доповідь не підготовлено.

Оцінювання самостійної роботи

Максимальні бали за видами робіт визначає робоча програма дисципліни; для кожної теми їх наведено на початку її розділу. За семестр можна отримати до 31 бала за завдання для самостійної роботи (15 – у змістовому модулі 1, 16 – у змістовому модулі 2), до 8 балів за доповіді й до 8 балів за тести.

Завдання для самостійної роботи оцінюють так: максимальний бал теми (3, 4 або 5) – завдання виконано повністю, з посиланнями на нормативні доку-

менти й джерела, висновки обґрунтовані; на 1–2 бали менше – завдання виконано з неточностями або неповно; 1 бал – завдання виконано частково; 0 – завдання не виконано.

Тест з теми проходять у Moodle. За 90–100 % правильних відповідей нараховують 1 бал, за 75–89 % – 0,75, за 60–74 % – 0,5, за менше ніж 60 % – 0. Тест охоплює питання для самостійного опрацювання теми й запитання для самоконтролю конспекту лекцій.

Розширене завдання лабораторної роботи виконують, якщо його задав викладач; результат включають до протоколу лабораторної роботи. За погодженням з викладачем розширене завдання може замінити завдання для самостійної роботи теми (індивідуальна освітня траєкторія) – тоді його оцінюють у межах балів самостійної роботи теми. Так само в межах тем визнають результати неформальної та інформальної освіти (онлайн-курси, тренінги, сертифікаційні програми) за наявності підтвердних документів.

У заочній формі нарахування балів таке саме, як у денній, а бали за завдання для самостійної роботи включають оцінювання контрольної роботи: з балів самостійної роботи кожної теми 2 бали нараховують за контрольну роботу (разом 16 балів), решту – за завдання для самостійної роботи теми. Доповіді-презентації здобувачі заочної форми виголошують під час сесії.

Графік самостійної роботи

У денній формі на кожну тему відведено два тижні; фактичні дати визначає розклад:

– звіт про виконання завдання для самостійної роботи подають до заняття, на якому захищають лабораторну роботу теми (теми 1–8 – тижні 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 і 16);

– доповіді виголошують на 4-му (тема 2) і 14-му (тема 7) тижнях;

– тест з теми проходять наприкінці другого тижня теми;

– підсумки змістових модулів підбивають на 8-му і 16-му тижнях.

У заочній формі до початку сесії подають у Moodle звіти про виконання завдань для самостійної роботи тем 1–8, протоколи ЛР1–ЛР7 і контрольну роботу. Під час сесії виконують ЛР8, захищають лабораторні роботи й контрольну роботу, виголошують доповіді й проходять тести, якщо викладач не призначив їх раніше.

ТЕМА 1. ОЕС УКРАЇНИ ЯК ОБ'ЄКТ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ

Мета самостійної роботи: поглибити знання про склад і режимні властивості генерувальних потужностей ОЕС України, баланс потужності та зміни в роботі енергосистеми після синхронізації з ENTSO-E і внаслідок воєнних дій.

Обсяг самостійної роботи: денна форма – 9 год, заочна – 14,5 год. Максимальні бали: завдання для самостійної роботи – 3.

1.1 Питання для самостійного опрацювання

Питання, які потрібно опрацювати самостійно, і відповідні пункти конспекту лекцій [1] наведено в табл. 1.1. Для самоперевірки використовуйте запитання для самоконтролю теми 1 конспекту.

Таблиця 1.1 – Питання для самостійного опрацювання з теми 1

№	Питання	Пункти конспекту
1	Особливості ЕЕС як об'єкта керування; розподіл функцій між персоналом і автоматикою	1.1
2	Режимні властивості електростанцій різних типів і їхнє місце в графіку навантаження	1.2, табл. 1.2
3	Система передачі та системи розподілу: класи напруги, оператори	1.3
4	Показники добового графіка навантаження; залишкове навантаження й вимоги до маневрових потужностей	1.4
5	Шлях до синхронізації з ENTSO-E: IPS/UPS, «Бурштинський острів», ізольований режим і синхронізація 2022 р.	1.5, 1.6
6	Робота ОЕС в умовах воєнних дій; системна аварія 23.11.2022	1.7, табл. 1.5
7	Децентралізація генерації, енергоострови й підвищення стійкості енергосистеми	1.8

1.2 Завдання для самостійної роботи

Тема завдання: аналіз структури генерації та добового балансу ОЕС України за довоєнними статистичними даними.

Вихідні дані: встановлена потужність електростанцій ОЕС України та їхні частки у виробництві електроенергії за січень–жовтень 2021 р. [1, табл. 1.1]; виробництво електроенергії за цей період – 127,7 млрд кВт·год [12];

протокол ЛР1 вашого варіанта з погодинним графіком покриття навантаження.

Порядок виконання:

1. Для кожного типу електростанцій обчисліть виробництво електроенергії $W_j = \delta_j W_\Sigma$, де δ_j – частка у виробництві, W_Σ – виробництво за період, і коефіцієнт використання встановленої потужності

$$k_{\text{вик},j} = \frac{W_j}{P_{\text{вст},j} T}, \tag{1.1}$$

де $k_{\text{вик},j}$ – коефіцієнт використання встановленої потужності електростанцій типу j;

W_j – виробництво електроенергії електростанціями типу j за період, МВт·год;

$P_{\text{вст},j}$ – встановлена потужність електростанцій типу j, МВт;

T – тривалість періоду, год; для січня–жовтня 2021 р. T = 7 296 год.

Наприклад, для АЕС $W_{\text{АЕС}}$ = 0,542 · 127,7 = 69,2 млрд кВт·год = 69,2 · 10^6 МВт·год, $k_{\text{вик,АЕС}}$ = 69,2 · 10^6 / (13 835 · 7 296) = 0,686. Блок-станції не враховуйте: їхньої встановленої потужності в табл. 1.1 конспекту не наведено.

2. Порівняйте частки електростанцій у встановленій потужності та у виробництві та значення $k_{\text{вик},j}$. Поясніть, чому АЕС, маючи меншу за ТЕС встановлену потужність, виробляли понад половину електроенергії, використавши режимні властивості електростанцій [1, табл. 1.2]. Поясніть, від чого залежить $k_{\text{вик}}$ СЕС і ВЕС.

3. За погодинним графіком протоколу ЛР1 обчисліть добове виробництво й частки АЕС, ТЕС, ТЕЦ, ГЕС, ГАЕС (у генераторному режимі), СЕС і ВЕС, УЗЕ та імпорту. Порівняйте структуру добового виробництва вашого варіанта зі структурою 2021 р. і поясніть відмінності сезоном, типом доби та генерацією СЕС.

4. За відкритими джерелами [7; 13; 14] стисло, до однієї сторінки, опишіть, як після 2022 р. змінилися структура генерувальних потужностей ОЕС України і способи забезпечення балансу потужності (втрати генерації, імпорт, розподілена генерація, УЗЕ). Оперативних даних з обмеженим доступом не використовуйте.

Зміст звіту: таблиця «тип електростанцій – $P_{вст,j}$ – частка у встановленій потужності – δ_j – W_j – $k_{вик,j}$»; порівняння структур за пп. 2 і 3 з діаграмами; огляд змін після 2022 р.; висновки (5–7 речень); список джерел.

1.3 Розширене завдання лабораторної роботи 1

Розширене завдання ЛР1 – покриття графіка навантаження після аварійного вимкнення енергоблока АЕС: потрібно скласти графік годин 15–24, покрити дефіцит потужності й відновити резерв [2, п. 1.1.7]. Його виконують у програмі ЛР1 в режимі «Розширене завдання (СРС)», а результат подають у розділі 5 протоколу ЛР1. Якщо розширене завдання виконано, у п. 3 завдання 1.2 порівняйте також структуру добового виробництва до й після вимкнення енергоблока.

Рекомендовані джерела: [1; 2; 7; 12–15].

ТЕМА 2. ПРАВОВІ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНІ ЗАСАДИ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ В УМОВАХ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Мета самостійної роботи: навчитися знаходити й застосовувати положення чинних нормативних документів, які визначають модель ринку електричної енергії та організацію ОДК, і розвинути навички професійної комунікації під час доповіді-презентації.

Обсяг самостійної роботи: денна форма – 9 год, заочна – 14,5 год. Максимальні бали: завдання для самостійної роботи – 4, доповідь-презентація – 4.

2.1 Питання для самостійного опрацювання

Питання для самостійного опрацювання і відповідні пункти конспекту лекцій [1] наведено в табл. 2.1. Для самоперевірки використовуйте запитання для самоконтролю теми 2 конспекту.

Таблиця 2.1 – Питання для самостійного опрацювання з теми 2

№	Питання	Пункти конспекту
1	Ієрархія нормативних актів, що регулюють ОДК; диспетчерське (оперативно-технологічне) управління за статтею 44 Закону «Про ринок електричної енергії»	2.1
2	Зміни до регулювання ринку електричної енергії, внесені Законом № 4834-IX	2.1, 2.3
3	Учасники ринку та їхні функції; агрегатор, оператор УЗЕ, активний споживач	2.2, табл. 2.1
4	Сегменти ринку від укладання договорів до реального часу; ціна клірингу РДН	2.3
5	Інтеграція з ринком ЄС: розподіл пропускної спроможності, сполучення ринків	2.4, табл. 2.2
6	Ієрархія ОДК: ОСП, ОСР, оперативний персонал енергооб’єктів	2.5
7	Оперативне підпорядкування: оперативне управління й оперативне відання	2.6
8	Оперативні команди й розпорядження, оперативні переговори й документація; підготовка й допуск оперативного персоналу	2.7, 2.8

2.2 Завдання для самостійної роботи

Тема завдання: термінологічна карта оперативно-диспетчерського керування в умовах ринку електричної енергії.

Вихідні дані: перелік термінів (табл. 2.2); чинні редакції Закону України «Про ринок електричної енергії» [16] зі змінами, внесеними Законом № 4834-IX [17], Кодексу системи передачі [18] і Кодексу систем розподілу [19]. Кожен здобувач опрацьовує шість термінів з номерами k, $k + 5$, $k + 10$, $k + 15$, $k + 20$ і $k + 25$, де k – остача від ділення номера варіанта на 5 (якщо остача дорівнює нулю, $k = 5$). Наприклад, варіанту 7 відповідають терміни 2, 7, 12, 17, 22 і 27. Терміни 1–20 визначено в Законі «Про ринок електричної енергії» (термін 18 – у редакції Закону № 4834-IX), терміни 21–29 – у Кодексі системи передачі, термін 30 – у Кодексі систем розподілу.

Таблиця 2.2 – Терміни для завдання 2.2

№	Термін	№	Термін
1	диспетчерське (оперативно-технологічне) управління	16	активний споживач
2	оператор системи передачі	17	агрегатор
3	оператор системи розподілу	18	послуги з гнучкості
4	оператор ринку	19	міждержавна лінія електропередачі
5	гарантований покупець	20	небаланс електричної енергії
6	електропостачальник	21	оперативне управління
7	сторона, відповідальна за баланс	22	оперативне відання
8	постачальник послуг з балансування	23	оперативне підпорядкування
9	постачальник допоміжних послуг	24	оперативна команда
10	допоміжні послуги	25	оперативне розпорядження
11	балансуючий ринок	26	режим системи
12	ринок «на добу наперед»	27	перетин
13	внутрішньодобовий ринок	28	об’єкти диспетчеризації
14	установка зберігання енергії	29	передиспетчеризація
15	оператор установки зберігання енергії	30	технологічне порушення

Порядок виконання:

1. Знайдіть визначення кожного терміна в чинній редакції відповідного документа і наведіть його дослівно з посиланням на статтю або пункт і дату редакції; для терміна 29 стисло наведіть також положення статті 44-1 Закону (у редакції Закону № 4834-IX). Юридичні терміни, наприклад «диспетчерське

(оперативно-технологічне) управління» чи «балансуючий ринок», синонімами не замінюйте.

2. Поясніть кожен термін власними словами (1–2 речення) і наведіть приклад його застосування в ОДК: хто з учасників ринку чи оперативного персоналу, коли і з якою метою діє відповідно до цього визначення [1, пп. 2.1–2.7].

3. Покажіть схемою або коротким текстом (3–5 речень) зв'язки між шістьма термінами вашого варіанта: як вони пов'язані в плануванні й веденні режиму ОЕС.

4. Для термінів, визначення яких змінено або введено Законом № 4834-IX, укажіть суть змін. Якщо таких термінів у варіанті немає, наведіть одну зміну цього Закону, що стосується ОДК [1, п. 2.1].

Зміст звіту: таблиця «термін – визначення (документ, стаття або пункт, редакція) – пояснення й приклад»; схема або опис зв'язків між термінами; висновки; список джерел.

2.3 Розширене завдання лабораторної роботи 2

Розширене завдання ЛР2 – ринкова влада на РДН: продавець вилучає із заявки найдорожчий повністю акцептований крок, а здобувач визначає нову ціну в торговій зоні, маржинальний дохід продавця до й після утримання потужності та робить висновок, чи вигідне утримання [2, п. 2.1.5]. Результат подають у розділі 4 протоколу ЛР2.

2.4 Доповідь-презентація

Вимоги до доповіді наведено в загальних рекомендаціях. Орієнтовні теми доповідей:

1. Єдине сполучення ринків «на добу наперед» (SDAC) і внутрішньодобових ринків (SIDC): механізм і підготовка України до приєднання.

2. Агрегатори та послуги з гнучкості за Законом № 4834-IX: моделі, учасники, роль ОСР.

3. УЗЕ на ринку допоміжних послуг: продукти, вимоги, досвід України та ЄС.

4. Регіональні координаційні центри: функції за Регламентом (ЄС) 2019/943 і співпраця з ОСП України.

5. Роль ОСР на ринку електричної енергії: від мережевої компанії до активного оператора системи розподілу.

6. Балансуючий ринок і відповідальність за небаланс: СВБ і ППБ.

7. Розподіл пропускної спроможності міждержавних перетинів: аукціони ЈАО, явний і неявний розподіл.

8. Ринок допоміжних послуг в Україні: продукти, спеціальні аукціони, обсяги закупівлі.

9. Цінові обмеження на ринку електричної енергії: призначення, наслідки, перехід до ринкового ціноутворення.

10. Організація ОДК в ОЕС України та в ОСП країн ЄС: порівняння.

Основні джерела для підготовки – конспект лекцій [1, пп. 2.1–2.5] і документи, наведені в рекомендованих джерелах теми, зокрема [20–22], а також оприлюднені матеріали АТ «Оператор ринку», НКРЕКП і НЕК «Укренерго».

Рекомендовані джерела: [1; 2; 7–9; 16–27].

ТЕМА 3. ПЛАНУВАННЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Мета самостійної роботи: поглибити знання про часові рівні планування режимів, оцінку достатності генерувальних потужностей, прогнозування споживання й генерації ВДЕ та резерви активної потужності; навчитися аналізувати документи ОСП, на яких ґрунтується планування режимів.

Обсяг самостійної роботи: денна форма – 9 год, заочна – 14,5 год. Максимальні бали: завдання для самостійної роботи – 3.

3.1 Питання для самостійного опрацювання

Питання для самостійного опрацювання і відповідні пункти конспекту лекцій [1] наведено в табл. 3.1. Для самоперевірки використовуйте запитання для самоконтролю теми 3 конспекту.

Таблиця 3.1 – Питання для самостійного опрацювання з теми 3

№	Питання	Пункти конспекту
1	Часові рівні ОДК та задачі кожного рівня	3.1, табл. 3.1
2	Оцінка відповідності (достатності) генерувальних потужностей; показники LOLE і EENS; План розвитку системи передачі	3.2
3	Планування ремонтів обладнання	3.2
4	Добове планування, акцептування графіків ОСП, внутрішньодобове коригування	3.3
5	Прогнозування споживання та генерації ВДЕ; оцінювання точності прогнозу (MAPE)	3.4
6	Резерви РПЧ, аРВЧ, рРВЧ, РЗ і визначення їхніх обсягів	3.5, табл. 3.2
7	Ринок допоміжних послуг і роль УЗЕ	3.6
8	Рівність відносних приростів і ринковий порядок завантаження (merit order)	3.7
9	Критерій N-1 під час планування режимів	3.8

3.2 Завдання для самостійної роботи

Тема завдання: аналітична записка про документ або метод, на якому ґрунтується планування режимів ОЕС України.

Вихідні дані: тема записки за варіантом – $k = 1$, 2 або 3, де k – остача від ділення номера варіанта на 3 (якщо остача дорівнює нулю, $k = 3$):

– $k = 1$ – методи прогнозування генерації СЕС і ВЕС: горизонти прогнозу, фізичні (на основі чисельного прогнозу погоди), статистичні методи й методи машинного навчання, показники точності, вплив похибки прогнозу на резерви та балансування [1, п. 3.4; 28; 29];

– $k = 2$ – звіт ОСП з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей (останній затверджений НКРЕКП, наприклад [30]): методика оцінки, сценарії, показники LOLE і EENS та їхні нормативні значення, висновки щодо дефіциту потужності й потреби в маневрових потужностях і УЗЕ;

– $k = 3$ – План розвитку системи передачі на 2026–2035 рр. [31]: прогнози попиту й генерації, основні проєкти будівництва й реконструкції мережі, розвиток міждержавних перетинів, УЗЕ та засобів диспетчерського керування.

Порядок виконання:

1. Опрацюйте документ або джерела за темою і стисло (до однієї сторінки) викладіть призначення документа чи методу, хто його розробляє, за якою процедурою затверджує і як часто оновлює [18].

2. Наведіть основні показники або положення в таблиці «показник (положення) – значення (зміст) – джерело» (6–10 рядків). Для $k = 1$ у таблиці порівняйте методи прогнозу за вихідними даними, горизонтом і точністю.

3. Покажіть, на якому часовому рівні ОДК використовують результати документа чи методу і які рішення диспетчерського планування на них ґрунтуються: обсяги резервів, графіки ремонтів, обмеження генерації ВДЕ, акцептування графіків [1, пп. 3.1–3.5].

4. Сформулюйте 3–5 висновків, зокрема щодо впливу воєнних дій і зростання частки ВДЕ на планування режимів. Оперативних даних з обмеженим доступом не використовуйте.

Зміст звіту: аналітична записка обсягом 3–4 с. з таблицею основних показників (п. 2), висновки, список джерел.

3.3 Розширене завдання лабораторної роботи 3

Розширене завдання ЛР3 – вплив похибки прогнозу генерації СЕС на залишкове навантаження й резерв: за прогнозом і фактом генерації СЕС визначають nMAE прогнозу, середньоквадратичну похибку прогнозу залишкового навантаження й потрібне збільшення резерву [2, п. 3.1.7]. Результат подають у розділі 5 протоколу ЛР3. Розширене завдання добре доповнює аналітичну записку для $k = 1$. Рекомендовані джерела: [1; 2; 15; 18; 28–32].

ТЕМА 4. ОПЕРАТИВНЕ КЕРУВАННЯ РЕЖИМОМ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Мета самостійної роботи: поглибити знання про режими системи, балансування й регулювання режиму в реальному часі та навчитися аналізувати оперативні перемикання з погляду вимог Правил виконання оперативних перемикань в електроустановках і людського чинника.

Обсяг самостійної роботи: денна форма – 9 год, заочна – 14,5 год. Максимальні бали: завдання для самостійної роботи – 5.

4.1 Питання для самостійного опрацювання

Питання для самостійного опрацювання і відповідні пункти конспекту лекцій [1] наведено в табл. 4.1. Для самоперевірки використовуйте запитання для самоконтролю теми 4 конспекту.

Таблиця 4.1 – Питання для самостійного опрацювання з теми 4

№	Питання	Пункти конспекту
1	Режими системи за КСП і Регламентом (ЄС) 2017/1485: критерії й дії ОСП	4.1, табл. 4.1
2	Балансування ОЕС у реальному часі	4.2
3	Керування частотою й перетоками в перетинах; допустимі відхилення частоти	4.3, табл. 4.2
4	Керування напругою та реактивною потужністю	4.4
5	Стани обладнання та заявки на виведення з роботи: види, порядок подання й погодження	4.5
6	Бланки та програми перемикань: призначення, зміст, порядок застосування	4.6, дод. А
7	Оперативні блокування й послідовність операцій під час виведення обладнання в ремонт	4.7, табл. 4.3
8	Людський чинник, типові помилки під час перемикань і запобіжні заходи	4.8, табл. 4.4

4.2 Завдання для самостійної роботи

Тема завдання: аналіз помилок оперативного персоналу під час перемикань.

Вихідні дані: схема ПС 110/10 кВ «Центральна» [1, рис. 4.5]; Правила виконання оперативних перемикань в електроустановках [33]; приклад бланка перемикань [1, дод. А]; опис ситуації за варіантом – номер ситуації *k* дорівнює

остачі від ділення номера варіанта на 5 (якщо остача дорівнює нулю, $k = 5$). Ситуації умовні.

Ситуація 1. Черговий ПС отримав розпорядження диспетчера ОСР вивести в ремонт трансформатор Т1. Другий працівник зміни виїхав на інший об'єкт, тому черговий виконував перемикання за бланком сам. Після переведення навантаження 1С 10 кВ на Т2 він вимкнув В-10 Т1 і В-110 Т1, вимкнув Р-110 Т1 і одразу ввімкнув ЗН-110 Т1, не перевіривши відсутності напруги покажчиком. Нейтраль Т1, яка в нормальному режимі розземлена, перед вимкненням трансформатора не заземлили.

Ситуація 2. Диспетчер ОСР по телефону віддав розпорядження вивести в ремонт фідер Ф-3 для робіт на кабельній лінії. Черговий не повторив розпорядження, записав в оперативний журнал «Ф-5» і вимкнув В-10 Ф-5, знеструмивши споживачів цього фідера. Помітивши помилку за телевимірюваннями, він, не повідомивши диспетчера, ввімкнув В-10 Ф-5, вимкнув В-10 Ф-3 і викотив візок вимикача в ремонтне положення.

Ситуація 3. Введення в роботу ПЛ-110 кВ «Північна» після ремонту почали за 15 хв до кінця зміни. Поспішаючи, черговий пропустив рядок бланка про вимкнення заземлювальних ножів лінійного роз'єднувача ЛР-110 Пн. Блокування не дало ввімкнути роз'єднувач; вважаючи блокування несправним, черговий самостійно його деблокував і ввімкнув ЛР-110 Пн, а потім – вимикач, що спричинило КЗ на заземленій лінії.

Ситуація 4. Для виведення в ремонт трансформатора Т2 бланк не складали: черговий вважав ці перемикання добре знайомими й виконував їх по пам'яті. АВР СВ-10 і АПВ на час операцій з роз'єднувачами 110 кВ не вивели. Розпорядження диспетчера заземлити нейтраль Т1 на час ремонту Т2 (у нормальному режимі заземлена нейтраль Т2) черговий не виконав.

Ситуація 5. Планове виведення в ремонт ПЛ-110 кВ «Південна» виконували на ОРУ 110 кВ за температури повітря мінус 15 °С. Відсутність напруги перед ввімкненням ЗН перевіряли не покажчиком напруги, а за індикацією мнемосхеми АСК ТП. Після завершення робіт перед поданням напруги не перевірили, чи зняла бригада ПЗ, і не звірили облік заземлень в оперативному журналі.

Порядок виконання:

1. Визначте всі відхилення від вимог Правил виконання оперативних перемикань у вашій ситуації (їх щонайменше два) і для кожного вкажіть пункт Правил [33], який порушено.

2. Віднесіть кожну помилку до одного з типів, наведених у табл. 4.4 конспекту [1], і оцініть її можливі наслідки: знеструмлення споживачів, пошкодження обладнання, травмування персоналу.

3. Визначте, які бар'єри – організаційні, технічні, індивідуальні – мали запобігти кожній помилці і чому вони не спрацювали [1, п. 4.8].

4. Складіть правильний фрагмент бланка перемикань (10–15 рядків) для етапу, на якому сталися помилки, за формою бланка з дод. А конспекту [1]; для ситуації 2 замість бланка запишіть правильний обмін розпорядженнями й записи в оперативному журналі.

5. Запропонуйте 3–5 запобіжних заходів для ПС «Центральна»: організаційних, технічних, навчальних.

Зміст звіту: таблиця «відхилення – пункт Правил – тип помилки – можливі наслідки – бар'єр»; правильний фрагмент бланка (або запис переговорів для ситуації 2); запобіжні заходи; висновки; список джерел.

4.3 Розширене завдання лабораторної роботи 4

Розширене завдання ЛР4 – відмова оперативного блокування під час виведення в ремонт трансформатора Т2: потрібно виконати передбачені Правилами перевірки, повідомити диспетчера, отримати дозвіл на деблокування і продовжити перемикання за новим бланком [2, п. 4.1.7]. Результат подають у розділі 7 протоколу ЛР4. Порівняйте правильний порядок деблокування з діями персоналу в ситуації 3.

Рекомендовані джерела: [1; 2; 18; 19; 33–35].

ТЕМА 5. АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ РЕЖИМОМ І ПРОТИАВАРІЙНА АВТОМАТИКА

Мета самостійної роботи: поглибити знання про динаміку частоти, регулювання частоти й напруги та ПА; навчитися оцінювати швидкість розвитку аварійного зниження частоти й визначати дії автоматики й персоналу відповідно до Плану захисту енергосистеми.

Обсяг самостійної роботи: денна форма – 9 год, заочна – 14,5 год. Максимальні бали: завдання для самостійної роботи – 3.

5.1 Питання для самостійного опрацювання

Питання для самостійного опрацювання і відповідні пункти конспекту лекцій [1] наведено в табл. 5.1. Для самоперевірки використовуйте запитання для самоконтролю теми 5 конспекту.

Таблиця 5.1 – Питання для самостійного опрацювання з теми 5

№	Питання	Пункти конспекту
1	Рівняння руху, стала інерції ЕЕС, швидкість зміни частоти (RoCoF)	5.1
2	Первинне регулювання частоти: статизм, регулювальний ефект навантаження	5.2, табл. 5.1
3	Вторинне й третинне регулювання; помилка регулювання зони (ACE)	5.3
4	ВДЕ та інерція ЕЕС; синтетична інерція (за КСП – штучна інерція); роль УЗЕ	5.4
5	Засоби й ієрархія регулювання напруги	5.5, табл. 5.2
6	ПА: призначення, структура, керувальні впливи	5.6
7	АЧР, ЧАПВ, АОПО, САВН	5.7
8	План захисту та план відновлення енергосистеми	5.8

5.2 Завдання для самостійної роботи

Тема завдання: розвиток аварійного зниження частоти в ізольованій частині енергосистеми і дії автоматики й персоналу за Планом захисту.

Вихідні дані. Після аварійного розділення частина ОЕС зі споживанням P_0 залишилася ізольованою з дефіцитом потужності $\Delta P = dP_0$. Параметри варіанта v (умовні):

– $P_0 = 4\,000 + 200v$, МВт;

– $d = 10 + 5r_4$, %, де r_4 – остача від ділення $(v - 1)$ на 4;

– $H_{\text{сист}} = 2{,}5 + 0{,}5r_5$, с, де r_5 – остача від ділення $(v - 1)$ на 5.

Вважайте, що первинне регулювання й регулювальний ефект навантаження покривають 3 % P_0, а черги АЧР мають обсяг по 7,5 % P_0 [1, п. 5.7].

Порядок виконання:

1. Обчисліть ΔP і початкову швидкість зміни частоти RoCoF за формулою (5.3) конспекту [1].

2. Оцініть, через який час частота знизиться до 49,8; 49,6; 49,2 і 49,0 Гц, якщо вона змінюється з початковою швидкістю:

$$t_f = \frac{f_{\text{ном}} - f}{|\text{RoCoF}|}, \tag{5.1}$$

де t_f – час досягнення частоти f, с;

$f_{\text{ном}}$ – номінальна частота, $f_{\text{ном}} = 50$ Гц;

f – порогове значення частоти, Гц;

RoCoF – початкова швидкість зміни частоти, Гц/с.

Формула (5.1) дає нижню оцінку часу: первинне регулювання й регулювальний ефект навантаження сповільнюють зниження частоти. Порівняйте отримані значення з часом, потрібним диспетчеру для введення ГАВ, і зробіть висновок, які засоби можуть зупинити зниження частоти в ізольованій частині.

3. Для кожного порогового значення частоти визначте за КСП і конспектом [1, пп. 5.7, 5.8; 18] заходи ОСП, оперативного персоналу й автоматики (АЧР, ЧАПВ, АЧП, САЧР, ЗАЧР) і подайте їх у таблиці «частота – захід – хто виконує – орієнтовний час дії».

4. Визначте найменшу кількість черг АЧР n, які мають спрацювати для покриття дефіциту: n – найменше ціле число, для якого $3\ \% + 7{,}5\ \% \cdot n \geq d$, і відповідний обсяг відключення навантаження в мегаватах. Порівняйте схему черг з вимогами Регламенту (ЄС) 2017/2196 до АЧР у синхронній області Континентальної Європи [1, п. 5.7; 36].

5. Обчисліть найменшу сталу інерції, за якої RoCoF не перевищить 1 Гц/с:

$$H_{\min} = \frac{d f_{\text{ном}}}{2\text{RoCoF}_{\text{доп}}}, \tag{5.2}$$

де $H_{\min}$ – найменша стала інерції ЕЕС, с;

d – дефіцит потужності у відносних одиницях;

$\text{RoCoF}_{\text{доп}}$ – допустима швидкість зміни частоти, $\text{RoCoF}_{\text{доп}} = 1$ Гц/с.

Порівняйте $H_{\min}$ з $H_{\text{сист}}$ вашого варіанта і поясніть, як збільшення частки ВДЕ впливає на інерцію та які засоби її компенсують: синхронні компенсатори, синтетична інерція ВДЕ та УЗЕ [1, п. 5.4; 37].

Наприклад, для варіанта 1 $P_0 = 4\,200$ МВт, $d = 10\ \%$, $\Delta P = 420$ МВт, $H_{\text{сист}} = 2{,}5$ с; $\mathrm{RoCoF} = -420 \cdot 50 / (2 \cdot 2{,}5 \cdot 4\,200) = -1{,}00$ Гц/с; частота знизиться до 49,8 Гц через 0,20 с, до 49,0 Гц – через 1,00 с; потрібна одна черга АЧР (3 % + 7,5 % ≥ 10 %) – 315 МВт; $H_{\min} = 0{,}10 \cdot 50 / 2 = 2{,}5$ с, тобто за $H_{\text{сист}} = 2{,}5$ с RoCoF дорівнює допустимому значенню.

Зміст звіту: вихідні дані й розрахунки за пп. 1, 2, 4, 5; таблиця заходів за п. 3; висновки щодо ролі автоматики й інерції; список джерел.

5.3 Розширене завдання лабораторної роботи 5

Розширене завдання ЛР5 – синтетична інерція УЗЕ: у моделі ЛР5 потрібно знайти найменшу сталу синтетичної інерції, за якої мінімальна частота не нижча за 49,2 Гц, і відповідний коефіцієнт підсилення УЗЕ [2, п. 5.1.7]. Результат подають у протоколі ЛР5. Порівняйте його з висновками п. 5 завдання 5.2.

Рекомендовані джерела: [1; 2; 18; 36–41].

ТЕМА 6. ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКЕ КЕРУВАННЯ В СИСТЕМАХ РОЗПОДІЛУ

Мета самостійної роботи: поглибити знання про організацію ОДК в ОСР, ліквідацію технологічних порушень і застосування графіків обмеження та відключення споживачів; навчитися складати черги ГПВ і добовий графік їх застосування відповідно до чинних нормативних документів.

Обсяг самостійної роботи: денна форма – 9 год, заочна – 14,5 год. Максимальні бали: завдання для самостійної роботи – 4.

6.1 Питання для самостійного опрацювання

Питання для самостійного опрацювання і відповідні пункти конспекту лекцій [1] наведено в табл. 6.1. Для самоперевірки використовуйте запитання для самоконтролю теми 6 конспекту.

Таблиця 6.1 – Питання для самостійного опрацювання з теми 6

№	Питання	Пункти конспекту
1	Структура ОСР і рівні його диспетчерського керування: ЦДС, ОДС РЕМ	6.1
2	Форми оперативного обслуговування; ОВБ та оперативно-ремонтний персонал	6.2, табл. 6.1
3	Взаємодія ОСР з ОСП і споживачами; енергетичні служби споживачів	6.3
4	Розподілена генерація, організовані енергетичні острови, гнучке приєднання, послуги з гнучкості	6.4
5	Принципи ліквідації технологічних порушень у мережах ОСР	6.5
6	Пошук і локалізація пошкоджень; реклоузери, індикатори струму КЗ, FLISR	6.6
7	Графіки обмеження та відключення споживачів: ГОЕ, ГОП, ГАВ, СГАВ, ГПВ	6.7, табл. 6.2
8	Недовідпуск електроенергії, показники SAIDI і SAIFI; відновлення живлення після масованих атак	6.8

6.2 Завдання для самостійної роботи

Тема завдання: складання черг графіка погодинного відключення електроенергії для умовного ОСР і добового графіка їх застосування.

Вихідні дані. Умовний район електричних мереж живить 24 лінії 10 кВ: лінії 1–8 – від ПС 110/10 кВ «Центральна», лінії 9–16 – від ПС 35/10 кВ «Степова», лінії 17–24 – від ПС 110/10 кВ «Західна». Навантаження ліній за останнім режимним заміром у годину максимуму з 8:00 до 22:00 наведено в табл. 6.2. Лінії з позначкою «КО» живлять критично важливі об'єкти з пріоритетним електропостачанням, лінії з позначкою «РГ» мають розподілену генерацію, яка покриває не менше ніж 80 % споживання приєднаних до них споживачів. Дані умовні.

Таблиця 6.2 – Навантаження ліній 10 кВ за режимним заміром

№ лінії	P_{max}, МВт	Позначка	№ лінії	P_{max}, МВт	Позначка
1	2,6		13	1,7	
2	2,1		14	3,2	
3	1,4	КО (лікарня)	15	2,3	
4	3,3		16	1,9	
5	1,6		17	2,5	
6	2,4		18	1,5	
7	1,0	РГ (когенерація)	19	1,3	КО (котельня)
8	2,8		20	2,7	
9	1,5		21	2,1	
10	2,2		22	0,9	РГ (СЕС з УЗЕ)
11	1,2	КО (водоканал)	23	2,6	
12	2,6		24	2,6	

Сумарне навантаження району P_Σ = 50,0 МВт. Параметри варіанта v:

– лінія з номером m, де m – остача від ділення ($v - 1$) на 24, збільшена на одиницю, додатково має розподілену генерацію, що покриває не менше ніж 80 % споживання (якщо ця лінія вже має позначку «КО» або «РГ», додаткових ліній, вилучених з ГПВ, немає);

– ОСП дав команду застосувати N черг ГПВ з 6:00 до 24:00, де $N = 1{,}5 + 0{,}5r_4$, r_4 – остача від ділення ($v - 1$) на 4 (N = 1,5; 2; 2,5 або 3 черги).

Порядок виконання:

1. Визначте лінії, які не включають до ГПВ, і поясніть підстави з посиланнями на Інструкцію про складання і застосування графіків погодинного відключення електроенергії [42] та Порядок визначення та застосування граничних величин споживання електричної потужності [43]. Обчисліть потрібний обсяг ГПВ (не менше ніж 75 % P_Σ), найменший обсяг черги (12,5 % P_Σ) і перевірте, чи достатньо для цього решти ліній.

2. Розподіліть лінії, які включають до ГПВ, на 6 черг по 2 підчерги так, щоб навантаження черг і підчерг було якомога рівнішим, а кожна черга мала обсяг не менше ніж 12,5 % P_{Σ}. Лінію ділити між підчергами не можна: ОСР відключає лінії цілком [1, п. 6.7]. Бажано, щоб до однієї черги входили лінії різних підстанцій.

3. Складіть добовий графік застосування N черг з 6:00 до 24:00 з кроком 1 год (спрощення: Інструкція передбачає крок 30 хв): у кожну годину відключено N черг, тобто $2N$ підчерг. Дотримайтеся вимог для періоду воєнного стану: одноразове відключення – не довше ніж 6 год, наступний період живлення – не менше ніж 2 год; тривалість відключень підчерг за добу має бути однаковою. Подайте графік таблицею «година – відключені підчерги – відключене навантаження, МВт».

4. Обчисліть тривалість відключення кожної підчерги за добу і недовідпуск електроенергії за формулою (6.1) конспекту [1], вважаючи навантаження ліній рівним $P_{\max}$ (оцінка зверху).

5. Поясніть, чим ГПВ відрізняються від ГАВ і ГОП, хто дає команду на їх застосування і що робить ОСР, якщо команду про зменшення кількості черг отримано: згідно з наказом Міністерства енергетики України від 11.03.2026 № 118 її виконують не пізніше ніж за 30 хв [42]. Як вилучення ліній з розподіленою генерацією впливає на рівномірність відключень інших споживачів [1, пп. 6.4, 6.7; 44]?

Наприклад, для варіанта 1 $m = 1$, $N = 1{,}5$. До ГПВ не включають лінії 3, 7, 11, 19, 22 і лінію 1 (разом 8,4 МВт); решта ліній – 41,6 МВт, або 83,2 % P_{Σ}, що більше за потрібні 75 % (37,5 МВт). Середній обсяг черги – 6,93 МВт, найменший допустимий – 6,25 МВт. За $N = 1{,}5$ з 6:00 до 24:00 відключено 3 підчерги з 12, тобто кожна підчерга відключена $18 \cdot 3/12 = 4{,}5$ год; відключене навантаження – близько $1{,}5 \cdot 6{,}93 = 10{,}4$ МВт, недовідпуск – близько $10{,}4 \cdot 18 = 187$ МВт·год.

Зміст звіту: перелік вилучених ліній з підставами; таблиця черг і підчерг з навантаженнями й відсотками від P_{Σ}; добовий графік і перевірка вимог; тривалості відключень і недовідпуск; відповідь на п. 5; висновки; список джерел.

6.3 Розширене завдання лабораторної роботи 6

Розширене завдання ЛР6 – річні показники надійності: за річним журналом технологічних порушень мережі ЛР6 обчислюють SAIDI, SAIFI і MAIFI

та оцінюють, як зменшиться SAIDI, якщо лінійний роз’єднувач ЛР-1 замінити реклоузером [2, п. 6.1.7]. Результат подають у розділі 6 протоколу ЛР6. Порівняйте внесок однієї перерви через ГПВ і через технологічне порушення в показники надійності ОСР, ураховуючи, що їх обліковують окремо [1, п. 6.8; 45].

Рекомендовані джерела: [1; 2; 14; 19; 42–47].

ТЕМА 7. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ

Мета самостійної роботи: поглибити знання про архітектуру, протоколи обміну даними й кібербезпеку АСДК; засвоїти основи теорії передавання інформації в системах телемеханіки – завадостійкість приймання двійкових сигналів, кількість інформації за наявності завад і кодові формати телемеханіки; розвинути навички професійної комунікації під час доповіді-презентації.

Обсяг самостійної роботи: денна форма – 9 год, заочна – 14,5 год. Максимальні бали: завдання для самостійної роботи – 4, доповідь-презентація – 4.

7.1 Питання для самостійного опрацювання

Питання для самостійного опрацювання і відповідні пункти конспекту лекцій [1] наведено в табл. 7.1. Для самоперевірки використовуйте запитання для самоконтролю теми 7 конспекту. Основи теорії передавання інформації в конспекті не викладено, тому їх стисло наведено в підрозділі 7.2; детальніше – у посібниках [48; 49].

Таблиця 7.1 – Питання для самостійного опрацювання з теми 7

№	Питання	Пункти конспекту
1	Призначення й рівнева архітектура АСДК	7.1
2	RTU, IED, ОІК; види телеінформації; апертура телевимірювань	7.2, табл. 7.1
3	Програмні системи SCADA, EMS, DMS/ADMS, OMS	7.3, табл. 7.2
4	Диспетчерський пункт, гарантоване живлення, резервний диспетчерський пункт	7.4
5	Протоколи МЕК 60870-5-101/104, МЕК 61850, ICCP	7.5, табл. 7.3
6	Канали зв’язку й синхронізація часу	7.6, табл. 7.4
7	WAMS і PMU	7.7
8	Кібербезпека АСДК: МЕК 62351, уроки кібератак 2015, 2016 і 2022 рр.	7.8, табл. 7.5
9	Завадостійкість порогового й оптимального приймачів; кількість інформації за наявності завад; кодові формати телемеханіки	підрозділ 7.2 цих вказівок

7.2 Завдання для самостійної роботи

Тема завдання: завадостійкість приймання двійкових сигналів і достовірність передавання кадрів телемеханіки.

Стислі теоретичні відомості. Пристрій телемеханіки передає двійкові елементи сигналами однакової тривалості T, яким відповідають рівні $+A$ і $-A$. У каналі до сигналу додається завада, яку вважають гаусівським білим шумом: у смузі пропускання приймача Δf її середньоквадратичне значення дорівнює σ. Приймач для кожного елемента вирішує, який сигнал передано, і помиляється з імовірністю p [48; 49].

Пороговий приймач порівнює з порогом, рівним нулю, одне миттєве значення сигналу посередині елемента. Помилка виникає, коли завада в цей момент перевищує A і має протилежний знак, тому

$$p_{\text{пор}} = Q(h), \tag{7.1}$$

де $p_{\text{пор}}$ – імовірність помилки порогового приймача;

h – відношення сигнал/завада за амплітудою, $h = A/\sigma$;

A – амплітуда сигналу;

σ – середньоквадратичне значення завади в смузі пропускання приймача;

$Q(x)$ – імовірність того, що нормована гаусівська випадкова величина перевищить x:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} \mathrm{d}t. \tag{7.2}$$

Значення $Q(x)$ обчислюють функцією NORM.S.DIST табличного процесора як 1 − NORM.S.DIST(x; TRUE) або в Python і MATLAB як $0{,}5 \cdot \operatorname{erfc}(x/\sqrt{2})$; для перевірки окремі значення наведено в табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Значення функції $Q(x)$

x	$Q(x)$	x	$Q(x)$	x	$Q(x)$
2,5	$6{,}21 \cdot 10^{-3}$	4,0	$3{,}17 \cdot 10^{-5}$	5,5	$1{,}90 \cdot 10^{-8}$
3,0	$1{,}35 \cdot 10^{-3}$	4,5	$3{,}40 \cdot 10^{-6}$	6,0	$9{,}87 \cdot 10^{-10}$
3,5	$2{,}33 \cdot 10^{-4}$	5,0	$2{,}87 \cdot 10^{-7}$	6,5	$4{,}02 \cdot 10^{-11}$

Оптимальний приймач – кореляційний приймач або узгоджений фільтр – використовує не одне значення, а весь елемент: він накопичує енергію сигналу $E = A^2T$. Імовірність помилки для сигналів $\pm A$ дорівнює $Q(\sqrt{(2E/N_0)})$, де N_0 – спектральна густина потужності завади, $\sigma^2 = N_0\Delta f$. Звідси

$$p_{\text{опт}} = Q\left(h\sqrt{2\Delta fT}\right), \tag{7.3}$$

де $p_{\text{опт}}$ – імовірність помилки оптимального приймача;

Δf – смуга пропускання приймача, Гц;

T – тривалість двійкового елемента, с.

Оскільки смуга приймача не може бути вужчою, ніж приблизно $1/T$, добуток ΔfT не менший за одиницю, і оптимальний приймач завжди має меншу ймовірність помилки, ніж пороговий; виграш зростає з розширенням смуги.

Кількість інформації за наявності завад. Двійковий елемент з рівноймовірними значеннями без завад переносить 1 біт інформації. Якщо кожен елемент спотворюється з імовірністю p незалежно від інших (двійковий симетричний канал), частина інформації втрачається, і один елемент у середньому переносить [48]

$$I_1 = 1 + p\log_2 p + (1-p)\log_2(1-p), \tag{7.4}$$

де I_1 – середня кількість інформації, яку переносить один двійковий елемент, біт;

p – імовірність помилки приймання елемента.

Кадр з n елементів переносить nI_1 біт, а пропускна здатність каналу зі швидкістю модуляції B Бд дорівнює BI_1 біт/с.

Кодові формати телемеханіки. Стандарт IEC 60870-5-1 визначає чотири класи форматів кадрів – FT1.1, FT1.2, FT2 і FT3 – з різною кодовою відстанню d (табл. 7.3) [50]. Код з кодовою відстанню d гарантовано виявляє будь-яку комбінацію з $d-1$ і менше помилок; помилка залишається невиявленою, лише якщо спотворено щонайменше d елементів і спотворений кадр збігся з іншим допустимим кадром. Протокол МЕК 60870-5-101 використовує формат FT1.2: кожен октет передається символом з 11 елементів (стартовий, 8 інформаційних, контрольний біт парності, стоповий), а кадр завершується контрольною сумою – арифметичною сумою октетів за модулем 256. У протоколі МЕК 60870-5-104 формати IEC 60870-5-1 не застосовують: достовірність кадрів забезпечують контрольні суми стека TCP/IP і циклічний код кадрів Ethernet [51].

Таблиця 7.3 – Формати кадрів за IEC 60870-5-1

Формат	Перевірочна інформація	d	Застосування
FT1.1	Біт парності в кожному символі	2	Застосовується рідко
FT1.2	Біт парності в кожному символі й контрольна сума кадру (8 біт)	4	МЕК 60870-5-101, МЕК 60870-5-103
FT2	Циклічний код (8 біт)	4	Застосовується рідко
FT3	Циклічний код (16 біт)	6	Канальний рівень DNP3

Якщо помилки елементів незалежні, імовірність прийняти кадр з n елементів без помилок і верхню оцінку ймовірності того, що кількість помилок досягне кодової відстані d, обчислюють за формулами

$$P_0 = (1-p)^n, \tag{7.5}$$

$$P_{\geq d} \approx \frac{(np)^d}{d!}, \tag{7.6}$$

де P_0 – імовірність прийняти кадр без помилок;

n – кількість двійкових елементів у кадрі;

$P_{\geq d}$ – імовірність того, що в кадрі буде d і більше помилок (верхня оцінка ймовірності невиявленої помилки);

d – кодова відстань формату.

Формула (7.6) – наближення Пуассона – придатна, коли $np < 0{,}1$. Значення $1/P_0$ показує середню кількість передавань кадру, якщо кадр з виявленою помилкою відкидають і передають повторно.

Вихідні дані варіанта v: r – остача від ділення $(v-1)$ на 10, s – ціла частина частки $(v-1)/10$:

– відношення сигнал/завада $h = 2{,}5 + 0{,}1r$;

– добуток $\Delta fT = 1$; 1,5 або 2 для $s = 0$, 1 або 2 відповідно;

– кадр формату FT1.2 з $n_{\text{окт}} = 20 + 2r$ октетів, тобто $n = 11n_{\text{окт}}$ двійкових елементів.

Порядок виконання:

1. Обчисліть імовірності помилки порогового й оптимального приймачів за формулами (7.1) і (7.3); поясніть, чому оптимальний приймач завадостійкіший.

2. Для обох приймачів обчисліть за формулою (7.4) кількість інформації, яку переносить один елемент і кадр, та втрату інформації у відсотках.

3. Для обох приймачів обчисліть P_0 і середню кількість передавань кадру; для оптимального приймача обчисліть також $P_{\geq d}$ для форматів FT1.1, FT1.2 і FT3 за формулою (7.6).

4. Зробіть висновок, чи забезпечує канал вашого варіанта прийнятну достовірність телеінформації і телекерування, який формат кадрів доцільний і як на достовірність обміну впливають засоби захисту від несанкціонованого втручання (автентифікація повідомлень за IEC TS 60870-5-7 [52]).

5. Стисло (до пів сторінки) опишіть тенденції розвитку телемеханіки: перехід від послідовних каналів до мереж TCP/IP, цифрові підстанції за МЕК 61850, захищені протоколи [1, пп. 7.5, 7.8; 53; 54].

Наприклад, для варіанта 1 $h = 2{,}5$, $\Delta fT = 1$, $n = 220$. Пороговий приймач: $p_{\text{пор}} = Q(2{,}5) = 6{,}21\cdot10^{-3}$, $I_1 = 0{,}946$ біт, $P_0 = 0{,}254$ – у середньому кадр доводиться передавати майже 4 рази. Оптимальний приймач: $p_{\text{опт}} = Q(2{,}5\cdot\sqrt{2}) = Q(3{,}54) = 2{,}0\cdot10^{-4}$, $I_1 = 0{,}997$ біт, $P_0 = 0{,}956$, $np = 0{,}045$; $P_{\geq 2} \approx 1{,}0\cdot10^{-3}$, $P_{\geq 4} \approx 1{,}7\cdot10^{-7}$, $P_{\geq 6} \approx 1{,}1\cdot10^{-11}$. Отже, кодова відстань формату FT3 зменшує верхню оцінку ймовірності невиявленої помилки на чотири порядки порівняно з FT1.2.

Зміст звіту: вихідні дані; таблиця результатів «показник – пороговий приймач – оптимальний приймач»; оцінки для форматів FT1.1, FT1.2, FT3; висновки за пп. 4, 5; список джерел.

7.3 Розширене завдання лабораторної роботи 7

Розширене завдання ЛР7 – кібербезпека обміну: за журналом обміну за протоколом МЕК 60870-5-104 потрібно виявити ознаки несанкціонованого втручання – з’єднання з незареєстрованої адреси, загальне опитування, серію команд виконання без попереднього вибору, команди на неіснуючі адреси – і запропонувати заходи захисту [2, п. 7.1.8]. Результат подають у розділі 7 протоколу ЛР7. Розширене завдання добре доповнює доповідь про кібератаки на енергосистему України.

7.4 Доповідь-презентація

Вимоги до доповіді наведено в загальних рекомендаціях. Орієнтовні теми доповідей:

1. Кібератаки на енергосистему України 2015, 2016 і 2022 рр. та уроки для АСДК.

2. МЕК 61850 і цифрові підстанції: модель даних, GOOSE, шина процесу.

3. Системи WAMS і PMU: досвід ENTSO-E та перспективи для ОЕС України.

4. SCADA- і ADMS-системи українських ОСР: функції, досвід впровадження.

5. Захищені протоколи телемеханіки: МЕК 62351 та IEC TS 60870-5-7.

6. Канали зв'язку АСДК в умовах воєнних дій: резервування, супутникові та мобільні мережі.

7. Синхронізація часу в енергосистемі: GNSS, PTP і загроза підміни сигналів.

8. Резервні диспетчерські пункти й живучість АСДК.

9. Обмін даними між диспетчерськими центрами: ICCP і загальна інформаційна модель CIM.

10. Тенденції розвитку телемеханіки: від послідовних каналів до цифрових підстанцій і хмарних SCADA.

Основні джерела для підготовки – конспект лекцій [1, пп. 7.1–7.8] і документи, наведені в рекомендованих джерелах теми, зокрема [55–57].

Рекомендовані джерела: [1; 2; 18; 48–57].

ТЕМА 8. ПРОГРАМНІ ФУНКЦІЇ SCADA/EMS/ADMS ТА ПІДТРИМКА ОПЕРАТИВНИХ РІШЕНЬ

Мета самостійної роботи: поглибити знання про програмні функції EMS/ADMS і системи підтримки прийняття оперативних рішень; набути навичок оцінювання стану ЕЕС методом зважених найменших квадратів і виявлення недостовірних даних телемеханіки.

Обсяг самостійної роботи: денна форма – 9 год, заочна – 12,5 год. Максимальні бали: завдання для самостійної роботи – 5.

8.1 Питання для самостійного опрацювання

Питання для самостійного опрацювання і відповідні пункти конспекту лекцій [1] наведено в табл. 8.1. Для самоперевірки використовуйте запитання для самоконтролю теми 8 конспекту.

Таблиця 8.1 – Питання для самостійного опрацювання з теми 8

№	Питання	Пункти конспекту
1	Оцінювання стану: модель вимірювань, спостережуваність, метод WLS, недостовірні дані	8.1
2	Розрахунок усталеного режиму; метод постійного струму; коефіцієнти розподілу	8.2
3	Аналіз надійності режиму за критерієм N-1	8.3, табл. 8.1
4	Оптимізація режиму, оптимальний потокорозподіл, передиспетчеризація	8.4
5	Системи підтримки прийняття оперативних рішень	8.5
6	Тренажери диспетчерів	8.6
7	Цифрові двійники ЕЕС	8.7
8	Методи ШІ в ОДК: можливості й обмеження	8.8, табл. 8.2

8.2 Завдання для самостійної роботи

Тема завдання: оцінювання стану мережі з трьох вузлів методом зважених найменших квадратів і виявлення недостовірного вимірювання.

Вихідні дані. Мережа з трьох вузлів на рис. 3.6, а конспекту [1] з однаковими опорами ліній розглядається в моделі постійного струму [1, п. 8.2]. Вузол 1 – базисний (генерація), у вузлах 2 і 3 – навантаження $P_{н2} = 200 + 10r_5$ і $P_{н3} = 300 + 10r_4$, МВт, де r_5 і r_4 – остачі від ділення $(v - 1)$ на 5 і на 4. Дійсні значення перетоків і потужностей вузлів:

– $P_{12} = (2P_{н2} + P_{н3})/3$, $P_{13} = (P_{н2} + 2P_{н3})/3$, $P_{23} = P_{13} - P_{12}$;

– $P_1 = P_{н2} + P_{н3}$, $P_2 = -P_{н2}$, $P_3 = -P_{н3}$.

Виміряні значення в порядку P_{12}, P_{13}, P_{23}, P_1, P_2, P_3 отримують, додавши до дійсних похибки +3, −5, −3, +5, +2, −2 МВт і округливши результат до цілих мегаватів. Середньоквадратичні похибки: перетоків $\sigma = 5$ МВт, потужностей вузлів $\sigma = 10$ МВт. До вимірювання з номером k (k – остача від ділення ($v + 1$) на 6, збільшена на одиницю) додано грубу помилку $\Delta = +100$ МВт для непарного v і $\Delta = -100$ МВт для парного.

Змінними стану зручно взяти перетоки ліній від базисного вузла $y_2 = P_{12}$ і $y_3 = P_{13}$: за однакових опорів вони пропорційні кутам напруг вузлів 2 і 3. Тоді рівняння вимірювань лінійні: $P_{12} = y_2$, $P_{13} = y_3$, $P_{23} = y_3 - y_2$, $P_1 = y_2 + y_3$, $P_2 = -2y_2 + y_3$, $P_3 = y_2 - 2y_3$, а мінімум цільової функції (8.2) конспекту дає оцінка

$$\hat{x} = (H^{\mathrm{T}}WH)^{-1}H^{\mathrm{T}}Wz, \tag{8.1}$$

де $\hat{x}$ – оцінка вектора стану (y_2, y_3);

H – матриця коефіцієнтів рівнянь вимірювань розміром 6 × 2;

W – діагональна матриця вагових коефіцієнтів $1/\sigma_i^2$;

z – вектор вимірювань.

Для повного набору вимірювань $H^{\mathrm{T}}WH$ має діагональні елементи 0,14 і недіагональні −0,07 МВт$^{-2}$. Нормовані залишки обчислюють за формулою (8.3) конспекту, а діагональні елементи коваріаційної матриці залишків – як діагональні елементи матриці

$$\Omega = R - H(H^{\mathrm{T}}WH)^{-1}H^{\mathrm{T}}, \tag{8.2}$$

де Ω – коваріаційна матриця залишків;

R – діагональна матриця дисперсій похибок вимірювань σ_i^2.

Для повного набору вимірювань $\sqrt{\Omega_{ii}}$ дорівнює 3,93 МВт для перетоків і 8,45 МВт для потужностей вузлів. Розрахунки виконують у табличному процесорі, MATLAB або Python.

Порядок виконання:

1. Обчисліть дійсні й виміряні значення шести величин вашого варіанта. Визначте коефіцієнт надлишковості та кількість ступенів вільності $m - n$; поясніть, чи є серед вимірювань критичні [1, п. 8.1].

2. Обчисліть оцінку стану за формулою (8.1), оцінки всіх шести величин і цільову функцію J за формулою (8.2) конспекту. Порівняйте J з порогом розподілу χ^2 для ймовірності 0,99: 13,28 для чотирьох ступенів вільності.

3. Обчисліть нормовані залишки, визначте недостовірне вимірювання за найбільшим залишком (поріг 3) і поясніть, чому груба помилка «розмазується» по сусідніх вимірюваннях.

4. Вилучіть недостовірне вимірювання, повторіть оцінювання (поріг χ^2 для трьох ступенів вільності – 11,34) і порівняйте оцінки з дійсними значеннями та з виміряними.

5. У висновках (5–7 речень) поясніть, як результати оцінювання стану використовують аналіз надійності за критерієм N-1, тренажер диспетчера й цифровий двійник і які обмеження мають методи ШІ для виявлення недостовірних даних [1, пп. 8.3, 8.5–8.8; 58].

Наприклад, для варіанта 1 $P_{н2}$ = 200 МВт, $P_{н3}$ = 300 МВт, виміряні значення 236, 262, 130 (k = 3, Δ = +100), 505, −198, −302 МВт – це приклад п. 8.1 конспекту. Оцінки перетоків – 215,5, 284,8 і 69,3 МВт, J = 239 > 13,28, отже, у даних є груба помилка. Нормований залишок вимірювання P_{23} – 15,4, інших – від 0,6 до 6,2. Після вилучення P_{23} оцінки перетоків – 234,1, 266,1 і 32,0 МВт, J = 1,37 < 11,34; дійсні значення – 233,3, 266,7 і 33,3 МВт.

Зміст звіту: вихідні дані й матриця H; таблиця «величина – дійсне значення – виміряне – оцінка до вилучення – нормований залишок – оцінка після вилучення»; перевірка за χ^2; висновки; список джерел.

8.3 Розширене завдання лабораторної роботи 8

Розширене завдання ЛР8 – оцінка заявки на ремонт лінії: потрібно проаналізувати ремонтну схему за критерієм N-1, перевірити, чи усуває порушення ввімкнення резервної лінії, і за потреби дібрати найдешевшу передиспетчеризацію [2, п. 8.1.8]. Результат подають у розділі 7 протоколу ЛР8. Поясніть, чому аналіз заявки потрібно виконувати на основі оцінки стану, а не сирих телевимірювань.

Рекомендовані джерела: [1; 2; 15; 18; 35; 58–63].

КОНТРОЛЬНА РОБОТА (ЗАОЧНА ФОРМА НАВЧАННЯ)

Мета і тема контрольної роботи

Контрольну роботу виконують здобувачі заочної форми навчання. На неї відведено 16 год самостійної роботи – по 2 год у кожній темі. Мета роботи – навчитися пов'язувати тему власної кваліфікаційної роботи з задачами оперативно-диспетчерського керування: сформулювати мету й завдання дослідження, дібрати й проаналізувати наукову літературу, вибрати метод дослідження та спланувати його організацію.

Тему контрольної роботи здобувач формулює сам за погодженням з викладачем і керівником кваліфікаційної роботи. Орієнтовні напрями для освітньої програми «Електротехнічні системи електроспоживання»:

– автоматизація розподільних мереж 10 кВ: реклоузери, індикатори струму КЗ, FLISR;

– АСДК ОСР: системи SCADA/ADMS, канали зв'язку, захищені протоколи телемеханіки;

– оцінювання стану й спостережуваність розподільних мереж з інтелектуальними лічильниками;

– режими розподільних мереж з розподіленою генерацією й організовані енергетичні острови;

– відновлення електропостачання після масових пошкоджень.

Для освітньої програми «Енергоефективність та керування енергоспоживанням»:

– керування попитом і графіками навантаження споживачів;

– участь агрегаторів і УЗЕ в наданні послуг з гнучкості та допоміжних послуг;

– прогнозування споживання підприємства або громади;

– застосування графіків обмеження й відключень і забезпечення живлення критично важливих об'єктів;

– енергетична служба споживача та її взаємодія з ОСР.

Зміст і обсяг контрольної роботи

Контрольна робота обсягом 10–15 с. без титульного аркуша й додатків містить:

1. вступ – актуальність теми для ОДК в ОЕС України, мета, завдання, об’єкт і предмет дослідження (1–2 с.);

2. аналіз літератури й нормативних документів – огляд не менше ніж 10–15 джерел, переважно 2021–2026 рр., зокрема чинних нормативних документів і статей з фахових видань; висновки огляду – що вже відомо і що потрібно дослідити (5–7 с.);

3. метод і план дослідження – вибір методу (розрахунковий, моделювання в MATLAB/Simulink, ETAP або віртуальних лабораторних роботах, аналіз статистичних даних), вихідні дані та їх джерела з урахуванням обмеженого доступу до оперативних даних за воєнного стану, етапи дослідження й очікувані результати (2–4 с.);

4. висновки і список використаних джерел за ДСТУ 8302:2015 [11].

Контрольну роботу оформлюють так само, як звіт про виконання завдання для самостійної роботи; титульний аркуш – за зразком додатка А з приміткою щодо контрольної роботи. Запозичення супроводжують посиланнями; використання інструментів генеративного штучного інтелекту зазначають у вступі.

Подання, захист і оцінювання

Контрольну роботу подають у Moodle одним файлом PDF з назвою «Прізвище_КР» до початку сесії, а захищають під час сесії: здобувач за 5–7 хв викладає мету, результати аналізу літератури й план дослідження та відповідає на запитання.

Контрольну роботу оцінюють до 16 балів, які входять до балів за завдання для самостійної роботи – по 2 бали в кожній темі. Роботу оцінюють за чотирма критеріями; за кожним нараховують 4 бали, якщо вимоги виконано повністю, 2–3 бали – з окремими недоліками, 1 бал – частково, 0 – якщо не виконано:

– мета, завдання, об’єкт і предмет сформульовано чітко й узгоджено з темою кваліфікаційної роботи та задачами ОДК;

– огляд літератури повний, ґрунтується на актуальних джерелах і чинних нормативних документах, містить обґрунтовані висновки;

– метод дослідження обґрунтовано, вихідні дані реальні або обґрунтовано синтетичні, план дослідження виконуваний;

– оформлення відповідає вимогам, на захисті здобувач вільно відповідає на запитання.

ПІДГОТОВКА ДО ЗАЛІКУ

Підсумковий контроль з дисципліни – залік. Його виставляють за накопиченими протягом семестру балами: за 60 і більше балів – «зараховано». Перелік питань до заліку використовують для самоконтролю перед рубіжним контролем змістових модулів, у заочній формі навчання – під час сесії, а також під час повторного складання заліку (FX).

Готуючись до заліку, повторюйте матеріал за пунктами конспекту лекцій [1], наведеними після кожного питання, запитаннями для самоконтролю наприкінці тем конспекту і результатами лабораторних робіт та завдань для самостійної роботи. Відповідь має бути повною й логічною, з правильним використанням термінів чинних нормативних документів, а за потреби – з формулами, схемами й прикладами.

Змістовий модуль 1

1. Склад генерувальних потужностей ОЕС України та роль електростанцій різних типів у покритті графіка навантаження (п. 1.2).

2. Система передачі та системи розподілу: призначення, класи напруги, оператори (п. 1.3).

3. Добові графіки навантаження: коефіцієнти заповнення та нерівномірності графіка (п. 1.4).

4. Баланс потужності в ЕЕС. Особливості ЕЕС як об’єкта керування (пп. 1.1, 1.4).

5. Робота ОЕС України в ізольованому режимі 24.02.2022 і синхронізація з енергосистемою континентальної Європи 16.03.2022 (пп. 1.5, 1.6).

6. Членство НЕК «Укренерго» в ENTSO-E: обов’язки ОСП, міждержавні перетини (п. 1.6).

7. Системна аварія 23.11.2022: причини, перебіг, відновлення енергосистеми (п. 1.7).

8. Вплив руйнування генерації й мереж на керування режимами; децентралізація генерації (пп. 1.7, 1.8).

9. Закон України «Про ринок електричної енергії»: модель ринку й диспетчерське (оперативно-технологічне) управління (п. 2.1).

10. Кодекс системи передачі та Кодекс систем розподілу: предмет регулювання, основні розділи (п. 2.1).

11. Учасники ринку електричної енергії: ОСП, ОСР, виробник, електропостачальник, оператор ринку, гарантований покупець (п. 2.2).

12. Сторона, відповідальна за баланс; постачальник послуг з балансування; агрегатор; оператор УЗЕ (п. 2.2).

13. Сегменти ринку електричної енергії, роль НКРЕКП, інтеграція з ринком ЄС (пп. 2.1, 2.3, 2.4).

14. Ієрархія оперативно-диспетчерського керування: диспетчерські центри ОСП, диспетчерські служби ОСР, оперативний персонал енергооб'єктів (п. 2.5).

15. Оперативне підпорядкування: оперативне управління й оперативне відання за КСП (п. 2.6).

16. Диспетчерські команди та розпорядження; оперативна документація й оперативні переговори (п. 2.7).

17. Часові рівні планування режимів ЕЕС (п. 3.1).

18. Оцінка відповідності (достатності) генерувальних потужностей і План розвитку системи передачі (п. 3.2).

19. Планування ремонтів обладнання (п. 3.2).

20. Добові графіки, їх акцептування ОСП і внутрішньодобове коригування (п. 3.3).

21. Методи короткострокового прогнозування електроспоживання та оцінювання їх точності (MAPE) (п. 3.4).

22. Резерви РПЧ, аРВЧ, рРВЧ, РЗ: призначення й визначення обсягів (п. 3.5).

23. Оптимальний розподіл навантаження: принцип рівності відносних приростів і ринковий порядок завантаження за ціною (merit order) (п. 3.7).

24. Визначення ціни клірингу на ринку «на добу наперед»; розщеплення цін торгових зон (пп. 2.3, 2.4).

25. Стани ЕЕС за КСП і Регламентом (ЄС) 2017/1485: ознаки й дії диспетчера (п. 4.1).

26. Балансування ЕЕС у реальному часі (п. 4.2).

27. Керування перетоками в перетинах (п. 4.3).

28. Керування напругою та реактивною потужністю (п. 4.4).

29. Заявки на виведення обладнання з роботи: види, порядок подання й погодження (п. 4.5).

30. Бланки та програми перемикань: призначення, зміст, порядок застосування (п. 4.6, дод. А).

31. Оперативні блокування та послідовність операцій під час виведення обладнання в ремонт (п. 4.7).

32. Людський чинник і типові помилки оперативного персоналу під час перемикань (п. 4.8).

Змістовий модуль 2

33. Первинне регулювання частоти: статизм, регулювальний ефект навантаження, статична частотна характеристика (п. 5.2).

34. Вторинне регулювання частоти й перетоків: помилка регулювання зони (ACE), центральний регулятор (п. 5.3).

35. Третинне регулювання та заміщення резервів (пп. 3.5, 5.3).

36. Інерція ЕЕС, швидкість зміни частоти (RoCoF) і вплив ВДЕ; синтетична інерція (пп. 5.1, 5.4).

37. Засоби регулювання напруги: АРЗ, РПН, БСК, СТК, STATCOM (п. 5.5).

38. Автоматичне частотне розвантаження та частотне автоматичне повторне ввімкнення (п. 5.7).

39. Автоматика обмеження перевантаження обладнання та спеціальна автоматика відключення навантаження (пп. 5.6, 5.7).

40. План захисту та план відновлення енергосистеми (п. 5.8).

41. Структура диспетчерських служб ОСР і їх взаємодія з ОСП (пп. 6.1, 6.3).

42. Енергетичні служби споживачів (п. 6.3).

43. Керування розподільними мережами з розподіленою генерацією; послуги з гнучкості (п. 6.4).

44. Пошук і локалізація пошкоджень у розподільних мережах; реклоузери та індикатори проходження струму КЗ (п. 6.6).

45. Автоматична локалізація пошкодження, ізоляція та відновлення живлення (FLISR) (п. 6.6).

46. Графіки аварійних відключень, погодинних відключень і обмеження потужності: призначення та порядок застосування (п. 6.7).

47. Показники надійності електропостачання (SAIDI, SAIFI, MAIFI) і недовідпуск електроенергії (п. 6.8).

48. Досвід роботи ОСР під час масованих атак: енергоострови, мобільна та когенераційна генерація (пп. 6.4, 6.8).

49. Рівні автоматизованої системи диспетчерського керування: польовий, підстанційний, диспетчерський (п. 7.1).

50. Призначення й функції систем SCADA, EMS, DMS/ADMS, OMS (п. 7.3).

51. Телесигналізація, телевимірювання, телекерування; пристрої RTU та IED (п. 7.2).

52. Протокол МЕК 60870-5-104: формати APDU (I, S, U), будова ASDU, причина передавання (п. 7.5).

53. Апертура телевимірювань і її вплив на трафік та відображення даних у SCADA (п. 7.2).

54. МЕК 61850 і цифрова підстанція; обмін даними між диспетчерськими центрами (TASE.2/ICCP) (п. 7.5).

55. Синхронізація часу; системи WAMS і пристрої PMU (пп. 7.6, 7.7).

56. Кібербезпека АСДК: МЕК 62351, уроки кібератак на енергосистему України 2015, 2016 і 2022 рр. (п. 7.8).

57. Оцінювання стану методом зважених найменших квадратів: мета, вихідні дані, виявлення недостовірних даних (п. 8.1).

58. Розрахунок усталеного режиму в EMS; метод постійного струму (п. 8.2).

59. Коефіцієнти розподілу PTDF і LODF (пп. 8.2, 8.3).

60. Аналіз надійності режиму за критерієм N-1 (пп. 3.8, 8.3).

61. Оптимізація режиму, оптимальний потокорозподіл і передиспетчеризація (п. 8.4).

62. Системи підтримки прийняття оперативних рішень (п. 8.5).

63. Тренажери диспетчерів і цифрові двійники енергосистем (пп. 8.6, 8.7).

64. Методи штучного інтелекту в оперативно-диспетчерському керуванні: можливості й обмеження (п. 8.8).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Оперативно-диспетчерське керування електроенергетичними системами : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G3 «Електрична інженерія» освітніх програм «Електротехнічні системи електроспоживання» та «Енергоефективність та керування енергоспоживанням» денної та заочної форм навчання / уклад. В. В. Зінзура. Кропивницький : ЦНТУ, 20__. 193 с.

2. Оперативно-диспетчерське керування електроенергетичними системами : методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G3 «Електрична інженерія» освітніх програм «Електротехнічні системи електроспоживання» та «Енергоефективність та керування енергоспоживанням» денної та заочної форм навчання / уклад. В. В. Зінзура. Кропивницький : ЦНТУ, 20__. __ с.

3. Оперативно-диспетчерське керування електроенергетичними системами : віртуальні лабораторні роботи ЛР1–ЛР8 / розроб. В. В. Зінзура. Кропивницький : ЦНТУ, 2026. URL: https://moodle.kntu.kr.ua/course/view.php?id=1878 (дата звернення: 16.11.2026).

4. Електронний каталог бібліотеки ЦНТУ. URL: https://opac.kntu.kr.ua/ (дата звернення: 16.11.2026).

5. Інституційний репозитарій ЦНТУ. URL: https://dspace.kntu.kr.ua/ (дата звернення: 16.11.2026).

6. Законодавство України : офіційний вебпортал парламенту України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/ (дата звернення: 16.11.2026).

7. НЕК «Укренерго». URL: https://ua.energy/ (дата звернення: 16.11.2026).

8. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. URL: https://www.nerc.gov.ua/ (дата звернення: 16.11.2026).

9. АТ «Оператор ринку». URL: https://www.oree.com.ua/ (дата звернення: 16.11.2026).

10. ENTSO-E. URL: https://www.entsoe.eu/ (дата звернення: 16.11.2026).

11. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.

12. Про основні показники роботи паливно-енергетичного комплексу України у січні–жовтні 2021 року. Енергоінформ – Информэнерго. 2021. № 603. С. 2–7. URL: https://old.ntseu.net.ua/docs/review603-202111.pdf (дата звернення: 16.11.2026).

13. Ukraine's Energy Security and the Coming Winter. Paris : IEA, 2024. URL: https://www.iea.org/reports/ukraines-energy-security-and-the-coming-winter (дата звернення: 16.11.2026).

14. Ukraine's Energy Security 2025. Paris : IEA, 2025. URL: https://www.iea.org/reports/ukraine-s-energy-security-2025 (дата звернення: 16.11.2026).

15. Lin K. M. Power System Operation and Control. Baech : Trans Tech Publications, 2024. 270 p. DOI: https://doi.org/10.4028/b-YP61Wa.

16. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19 (дата звернення: 16.11.2026).

17. Про внесення змін до деяких законів України щодо імплементації норм європейського права з інтеграції енергетичних ринків, підвищення безпеки постачання та конкурентоспроможності у сфері енергетики : Закон України від 07.04.2026 № 4834-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4834-20 (дата звернення: 16.11.2026).

18. Про затвердження Кодексу системи передачі : постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 309. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18 (дата звернення: 16.11.2026).

19. Про затвердження Кодексу систем розподілу : постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 310. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18 (дата звернення: 16.11.2026).

20. Commission Regulation (EU) 2015/1222 of 24 July 2015 establishing a guideline on capacity allocation and congestion management. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2015/1222/oj (дата звернення: 16.11.2026).

21. Commission Regulation (EU) 2017/2195 of 23 November 2017 establishing a guideline on electricity balancing. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/2195/oj (дата звернення: 16.11.2026).

22. Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/943/oj (дата звернення: 16.11.2026).

23. Про затвердження Правил ринку : постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 307. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18 (дата звернення: 16.11.2026).

24. Про затвердження Правил ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку : постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 308. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0308874-18 (дата звернення: 16.11.2026).

25. Блінов І. В. Проблеми функціонування та розвитку нової моделі ринку електричної енергії в Україні. Вісник Національної академії наук України. 2021. № 3. С. 20–28. DOI: https://doi.org/10.15407/visn2021.03.020.

26. Сучасний конкурентний енергетичний ринок та керування енергоспоживанням. Практичні роботи : навч. посіб. / уклад.: С. В. Серебренніков, К. Г. Петрова, О. І. Сіріков. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. 67 с.

27. Оптовий та роздрібний ринок електричної енергії: розрахункова робота : навч. посіб. / уклад.: І. В. Блінов, Є. В. Парус. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 44 с.

28. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. 3rd ed. Melbourne : OTexts, 2021. URL: https://otexts.com/fpp3/ (дата звернення: 16.11.2026).

29. Plieshkov P., Soldatenko V., Zinzura V., Sirikov O., Plieshkov S. Optimal Control of Active Power Generation Levels by Renewable Energy Plants. Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences. 2025. Vol. 1, No. 12(43). P. 308–315. DOI: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.308-315.

30. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей для покриття прогнозованого попиту на електричну енергію та забезпечення необхідного резерву у 2024 році : затв. постановою НКРЕКП від 27.05.2025 № 784. Київ : НЕК «Укренерго», 2025. URL: https://ua.energy/ (дата звернення: 16.11.2026).

31. План розвитку системи передачі на 2026–2035 роки : схвал. постановою НКРЕКП від 20.01.2026 № 87. Київ : НЕК «Укренерго», 2026. URL: https://ua.energy/ (дата звернення: 16.11.2026).

32. Автоматизовані системи управління та оптимізація режимів електричних станцій. Розрахунково-графічна робота : навч. посіб. / уклад.: О. В. Остапчук, Р. В. Вожаков, М. П. Болотний. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 32 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstreams/8f0dae1e-24c2-46bd-8bec-095be703d8ba/download (дата звернення: 16.11.2026).

33. Про затвердження Правил виконання оперативних перемикань в електроустановках : наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 30.01.2018 № 77. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0211-18 (дата звернення: 16.11.2026).

34. ГКД 34.20.507-2003. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила : затв. наказом Міністерства палива та енергетики України від 13.06.2003 № 296 (у ред. наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.06.2019 № 271). Київ, 2019.

35. Commission Regulation (EU) 2017/1485 of 2 August 2017 establishing a guideline on electricity transmission system operation. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/1485/oj (дата звернення: 16.11.2026).

36. Commission Regulation (EU) 2017/2196 of 24 November 2017 establishing a network code on electricity emergency and restoration. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/2196/oj (дата звернення: 16.11.2026).

37. Project Inertia Phase II : first report. Brussels : ENTSO-E, 2023. 33 p. URL: https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/public-cdn-container/clean-documents/sdc-documents/231108_Project_Inertia_Phase_II_First_Report_FOR_PUBLICATION_clean.pdf (дата звернення: 16.11.2026).

38. ГНД 34.20.567-2003. Правила застосування системної протиаварійної автоматики запобігання та ліквідації небезпечного зниження або підвищення частоти в енергосистемах : затв. наказом Міністерства палива та енергетики України від 01.12.2003 № 714 (у ред. наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 31.07.2012 № 553). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1177-03 (дата звернення: 16.11.2026).

39. Grid Incident in Spain and Portugal on 28 April 2025 : ICS Investigation Expert Panel final report. Brussels : ENTSO-E, 2026. 472 p. URL: https://www.entsoe.eu/publications/blackout/28-april-2025-Iberian-blackout (дата звернення: 16.11.2026).

40. Kundur P. S., Malik O. P. Power System Stability and Control. 2nd ed. New York : McGraw Hill, 2022. 976 p.

41. Протиаварійна автоматика і розрахунки стійкості енергосистем. Комп'ютерний практикум : навч. посіб. / уклад.: М. П. Болотний, Р. В. Вожаков, О. Л. Бондаренко. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 203 с. URL:

https://ela.kpi.ua/bitstreams/27b95ece-ca3c-4416-829f-8ca93588f4dd/download (дата звернення: 16.11.2026).

42. Інструкція про складання і застосування графіків погодинного відключення електроенергії : затв. наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 15.10.2015 № 654 (у ред. наказу Міністерства енергетики України від 27.11.2024 № 439, зі змінами, внесеними наказом Міністерства енергетики України від 11.03.2026 № 118). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0153-16 (дата звернення: 16.11.2026).

43. Про затвердження Порядку визначення та застосування граничних величин споживання електричної потужності : постанова Кабінету Міністрів України від 24.05.2024 № 600 (зі змінами, внесеними постановою Кабінету Міністрів України від 04.11.2026 № 1371). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/600-2024-п (дата звернення: 16.11.2026).

44. Інструкція про складання і застосування графіків обмеження та аварійного відключення споживачів, а також протиаварійних систем зниження електроспоживання : затв. наказом Міністерства палива та енергетики України від 23.11.2006 № 456 (зі змінами, внесеними наказом Міністерства енергетики України від 13.09.2025 № 366). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0151-07 (дата звернення: 16.11.2026).

45. Про затвердження форм звітності щодо показників якості електропостачання та інструкцій щодо їх заповнення : постанова НКРЕКП від 12.06.2018 № 374. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0374874-18 (дата звернення: 16.11.2026).

46. IEEE Std 1366-2022. IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices. New York : IEEE, 2022.

47. Бурбело М. Й., Лобода Ю. В., Слободян Р. О., Слободян А. Р. Матричний метод визначення показників надійності розгалужених розподільних електричних мереж. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2022. № 3. С. 17–23. DOI: https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-162-3-17-23.

48. Плєшков П. Г., Серебренніков С. В., Петрова К. Г. Телемеханіка та автоматизовані системи управління в електроенергетиці : навч. посіб. Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2016. 152 с.

49. Варецький Ю. О., Карач Л. В. Оперативно-диспетчерське керування електроенергетичними системами. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2002. 160 с.

50. IEC 60870-5-1:1990. Telecontrol equipment and systems. Part 5: Transmission protocols. Section 1: Transmission frame formats. Geneva : IEC, 1990.

51. IEC 60870-5-104:2006+AMD1:2016. Telecontrol equipment and systems. Part 5-104: Transmission protocols. Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles. Geneva : IEC, 2016.

52. IEC TS 60870-5-7:2025. Telecontrol equipment and systems. Part 5-7: Transmission protocols. Security extensions to IEC 60870-5-101 and IEC 60870-5-104 protocols (applying IEC 62351). Geneva : IEC, 2025.

53. ДСТУ EN 61850-7-4:2022. Комунікаційні мережі та системи для автоматизації електроенергетичних підприємств. Частина 7-4. Базова комунікаційна структура. Сумісні класи логічних вузлів та класи даних (EN 61850-7-4:2010, IDT; IEC 61850-7-4:2010, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

54. IEC 62351-3:2023. Power systems management and associated information exchange. Data and communications security. Part 3: Communication network and system security. Profiles including TCP/IP. Geneva : IEC, 2023.

55. Lee R. M., Assante M. J., Conway T. Analysis of the Cyber Attack on the Ukrainian Power Grid : Defense Use Case. Washington : E-ISAC, 2016. URL: https://nsarchive.gwu.edu/sites/default/files/documents/3891751/SANS-and-Electricity-Information-Sharing-and.pdf (дата звернення: 16.11.2026).

56. Industroyer2: Industroyer reloaded / ESET Research. WeLiveSecurity. 2022. 12 April. URL: https://www.welivesecurity.com/2022/04/12/industroyer2-industroyer-reloaded/ (дата звернення: 16.11.2026).

57. Sandworm Disrupts Power in Ukraine Using a Novel Attack Against Operational Technology / Mandiant. Google Cloud Blog. 2023. 9 November. URL: https://cloud.google.com/blog/topics/threat-intelligence/sandworm-disrupts-power-ukraine-operational-technology (дата звернення: 16.11.2026).

58. Cheng G., Lin Y., Abur A., Gómez-Expósito A., Wu W. A Survey of Power System State Estimation Using Multiple Data Sources: PMUs, SCADA, AMI, and Beyond. IEEE Transactions on Smart Grid. 2024. Vol. 15, No. 1. P. 1129–1151. DOI: https://doi.org/10.1109/TSG.2023.3286401.

59. Wood A. J., Wollenberg B. F., Sheblé G. B. Power Generation, Operation, and Control. 3rd ed. Hoboken : Wiley-Interscience, 2014. XXII, 632 p.

60. Digital Twins for the Future Power System: An Overview and a Future Perspective / Z. Song, C. M. Hackl, A. Anand et al. Sustainability. 2023. Vol. 15, No. 6. Art. 5259. DOI: https://doi.org/10.3390/su15065259.

61. Шульга А. М., Ковальов Є. С. Інтелектуальні системи в електроенергетиці : навч. посіб. Харків : НТУ «ХПІ», 2021. 276 с.

62. Касаткіна І. В., Бойко С. М., Жуков О. А. Інтелектуальні системи електропостачання : навч. посіб. Варшава : [б. в.], 2023. 151 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2024/Kasatkina_2023_151.pdf (дата звернення: 16.11.2026).

63. Energy and AI : World Energy Outlook Special Report. Paris : IEA, 2025. URL: https://www.iea.org/reports/energy-and-ai (дата звернення: 16.11.2026).

ДОДАТОК А ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОГО АРКУША ЗВІТУ

Титульний аркуш звіту про виконання завдання для самостійної роботи оформлюють за наведеним нижче зразком на аркуші формату А4 шрифтом 14 пт; слово «ЗВІТ» виділяють напівжирним. Для контрольної роботи замість слів «ЗВІТ про виконання завдання для самостійної роботи з теми …» пишуть «КОНТРОЛЬНА РОБОТА» і тему роботи, а замість варіанта – тему кваліфікаційної роботи.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

ЗВІТ

про виконання завдання для самостійної роботи з теми 1
«ОЕС України як об’єкт оперативно-диспетчерського керування»
з навчальної дисципліни
«Оперативно-диспетчерське керування електроенергетичними системами»

Варіант 7

Виконав: здобувач групи ____
Прізвище І. П.

Перевірив: доцент кафедри ЕТС та ЕМ
Ініціали ПРІЗВИЩЕ

Кропивницький 20__