

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Кафедра електротехніки, електромеханіки та електротехнологій

РОЗГЛЯНУТО І СХВАЛЕНО

на засіданні кафедри інженерії
енергосистем
протокол № 29 від 05.06.2025р.

Завідувач кафедри

_____ Антипов Є.О.

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

_____ Каплун В.В.
“_____” _____ 2025 р.

РОЗГЛЯНУТО

Гарант ОП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____ Макаревич С.С.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Системи акумулювання та розподілення електроенергії

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
ННІ енергетики, автоматики і енергозбереження

Розробники старший викладач Кругляк Г.В.

Київ – 2025

1. Опис навчальної дисципліни

Дисципліна "Системи акумулювання та розподілення електроенергії" надає студентам бакалаврського рівня комплексні знання та практичні навички, необхідні для розуміння та застосування сучасних підходів до накопичення та ефективного розподілення електричної енергії. Курс охоплює широкий спектр тем, що є критично важливими для розвитку сучасної енергетики, зокрема в контексті інтеграції відновлюваних джерел енергії та підвищення надійності енергосистем.

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень		
Освітній ступінь	Бакалавр	
Спеціальність	141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»	
Освітня програма	Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка	
Характеристика навчальної дисципліни		
Вид	Нормативна (вибіркова)	
Загальна кількість годин	120	
Кількість кредитів ECTS	4	
Кількість змістових модулів	2	
Курсовий проект (робота)		
Форма контролю	Екзамен	
Показники навчальної дисципліни для денної та заочної форм навчання		
	денна форма навчання (скорочений термін)	заочна форма навчання (скорочений термін)
Рік підготовки	3, 2	
Семестр	6, 4	
Лекційні заняття	30	
Практичні, семінарські заняття	-	
Лабораторні заняття	30	
Самостійна робота	60	
Курсовий проект	-	
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних	4, 4	

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: Надати студентам ґрунтовні теоретичні знання та практичні навички щодо сучасних систем акумулювання та розподілення електроенергії, їхнього функціонування, вибору та ефективного застосування в умовах розвитку "зеленої" енергетики та децентралізації енергосистем.

Завдання:

- Ознайомити з основними типами та принципами роботи систем акумулювання енергії.
- Вивчити технічні характеристики та сфери застосування різних накопичувачів.
- Навчити аналізувати ефективність використання систем накопичення енергії.
- Сформулювати розуміння методів інтеграції накопичувачів у електричні мережі.

- Розвинути навички розрахунку та проектування базових елементів систем акумулювання.
 - Ознайомити з передовими технологіями та перспективами розвитку галузі.
- У результаті вивчення дисципліни студент повинен:

Знати:

- Основні принципи та технології функціонування різних типів систем акумулювання енергії.
- Характеристики та області застосування промислових, електрохімічних, механічних, теплових, надпровідникових та гібридних накопичувачів.
- Принципи роботи систем управління акумуляторами (BMS) та їхню роль.
- Особливості функціонування гідроакумулюючих електростанцій та паливних комірок.
- Методи використання систем Net Metering та Net Billing для інтеграції розподіленої генерації.
- Перспективи розвитку систем акумулювання електроенергії у світовій та українській енергетиці.

Вміти:

- Обирати оптимальний тип системи акумулювання енергії для конкретного застосування.
- Оцінювати техніко-економічні показники різних накопичувачів енергії.
- Аналізувати схеми інтеграції накопичувачів у електричні мережі.
- Розраховувати необхідну потужність та ємність систем акумулювання.
- Застосовувати знання про Net Metering та Net Billing для оптимізації споживання та генерації.
- Працювати з технічною документацією та нормативними актами у сфері енергозбереження та накопичення.

Мати навички:

- Вибору та обґрунтування технічних рішень щодо систем акумулювання енергії.
- Аналізування даних про роботу енергетичних накопичувачів.
- Оцінки впливу систем акумулювання на стабільність та ефективність енергосистеми.
- Пошуку та обробки інформації з питань розвитку та експлуатації ESS.
- Формування пропозицій щодо оптимізації енергетичних систем за допомогою накопичувачів.

Набуття компетентностей:

Інтегральна компетентність (ІК):

Здатність розв'язувати складні проблеми і задачі під час професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог.

Загальні компетентності (ЗК):

ЗК4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (СК):

СК6. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії

СК9. Здатність до усвідомлення необхідності підвищення ефективності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування.

СК10. Здатність до усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в інженерії розподільних електричних мереж.

Програмні результати навчання (ПРН):

ПРН4. Знати принципи роботи сонячних енергетичних, вітроенергетичних, біоенергетичних, гідроенергетичних установок.

ПРН8. Обирати і застосовувати придатні методи для аналізу і синтезу електроенергетичних систем із заданими показниками.

ПРН10. Знаходити необхідну інформацію в науковотехнічній літературі, базах даних та інших джерелах інформації, оцінювати її релевантність та достовірність.

ПРН16. Знати вимоги нормативних актів, що стосуються інженерної діяльності, захисту інтелектуальної власності, охорони праці, техніки безпеки та виробничої санітарії, враховувати їх при прийнятті рішень.

ПРН20. Уміти приймати оптимальні рішення під час вирішення завдань з розвитку регіональних розподільних електричних мереж та систем з відновлюваними джерелами.

3. Програма та структура навчальної дисципліни

3.1. Повний і скорочений термін навчання

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усь ого	у тому числі					усь ого	у тому числі				
		лек	пр.	лаб.	інд.	с.р.		лек	пр	лаб.	інд	с.р
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 1.												
Тема 1. Перспективи розвитку систем акумулювання електроенергії (ESS) у галузі електроенергетики: Огляд сучасного стану та прогноз ролі ESS у декарбонізації, стабілізації мереж та розвитку розподіленої генерації.	12	2				4						
Тема 2. Промислові накопичувачі електроенергії: Класифікація, основні технічні характеристики та області застосування великомасштабних систем накопичення енергії.	12	2				4						
Тема 3. Електрохімічні накопичувачі електроенергії (свинцево-кислотні, літієві та інші): Принципи роботи, типи, переваги та недоліки різних хімічних акумуляторів, їхні ключові характеристики.	12	4		2		8						

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тема 4. Системи управління (BMS): Призначення, архітектура та функції систем управління акумуляторними батареями для безпечної та ефективної експлуатації.	12	1		2		4						
Тема 5. Гідроакуючі електростанції: Принцип роботи, конструктивні особливості, роль у балансуванні енергосистеми та перспективи розвитку.	12	2				4						
Тема 6. Паливні комірки: Принципи генерації електроенергії, основні типи, застосування для стаціонарних та мобільних систем, їхні переваги.	2	2				4						
Тема 7. Механічні накопичувачі енергії: Маховикові накопичувачі та гравітаційні системи – принципи дії, ефективність та сфери використання.	2	2				4						
Разом за змістовим модулем 1	60	15		15		30						
Змістовий модуль 2.												
Тема 8. Акумулятори на стисненому повітрі: Технологія накопичення енергії шляхом компресії повітря, принципи роботи та застосування у великих масштабах.	2	2				8						
Тема 9. Надпровідникові накопичувачі: Принцип дії SMES-систем, переваги використання надпровідності для накопичення енергії та їхні перспективи.	2	2				8						
Тема 10. Суперконденсатори (іоністори): Принципи роботи, відмінності від акумуляторів, висока питома потужність та застосування для пікових навантажень.	2	2		2		8						
Тема 11. Теплові накопичувачі енергії: Методи зберігання теплової енергії (явне, приховане тепло) та їхнє застосування у системах опалення та охолодження.	2	2				8						
Тема 12. Гібридні системи накопичення енергії: Комбінації різних типів накопичувачів для оптимізації характеристик та підвищення ефективності.	2	2		2		8						
Тема 13. Методи використання системи Net Metering: Принципи взаєморозрахунків з мережею для власників розподіленої генерації, її переваги та обмеження.	2	2		2		8						
Тема 14. Методи використання системи Net Billing: Альтернативна модель взаєморозрахунків, особливості та відмінності від Net Metering, вплив на економіку проєктів.	2	2		2		8						

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Разом за змістовим модулем 3	60	15		20		30						
Усього	120	30		30		60						

4. Теми лабораторних занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Дослідження характеристик та ефективності свинцево-кислотного акумулятора	6
2.	Дослідження впливу температури на характеристики літій-іонного акумулятора	4
3.	Дослідження функціоналу та ефективності контролера заряду MPPT/PWM	4
4.	Побудова та тестування прототипу накопичувача енергії на суперконденсаторах	4
5.	Моделювання та аналіз поведінки системи "PV-Акумулятор" в Simulink (MATLAB)	4
6.	Тестування та порівняння різних типів сонячних елементів (фотовольтаїчних модулів)	4
7.	Дослідження циклічної стійкості та деградації акумуляторів	4

5. Теми самостійної роботи

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Порівняльний аналіз технологій акумуляування енергії для інтеграції відновлюваних джерел: Дослідження техніко-економічних показників (ККД, термін служби, вартість, щільність енергії) різних типів накопичувачів (літій-іонні, проточні батареї, гідроакумуляуючі, маховикові) у контексті їхнього застосування для згладжування нерівномірності генерації сонячних та вітрових електростанцій.	6
2.	Розробка концепції гібридної системи накопичення енергії для промислового підприємства: Проектування гібридної ESS (наприклад, комбінація літій-іонних акумуляторів та суперконденсаторів) для забезпечення безперебійного живлення критичних навантажень та оптимізації споживання електроенергії на конкретному промисловому об'єкті.	6
3.	Оцінка ефективності використання Net Metering та Net Billing для приватних домогосподарств з СЕС: Аналіз економічної доцільності застосування систем Net Metering та Net Billing в умовах українського	6

	законодавства для власників приватних сонячних електростанцій, включаючи розрахунок термінів окупності та потенційних заощаджень.	
4.	Дослідження ролі систем управління акумуляторами (BMS) у підвищенні безпеки та ефективності літій-іонних батарей: Огляд функцій BMS (моніторинг стану заряду/розряду, балансування комірок, температурний контроль, захист від перевантажень) та їхній вплив на термін служби та безпеку експлуатації літій-іонних акумуляторних систем.	6
5.	Перспективи застосування паливних комірок у децентралізованих енергетичних системах: Аналіз технологій паливних комірок (PEMFC, SOFC), їхніх переваг та недоліків, а також потенційних сценаріїв використання для автономного енергопостачання віддалених об'єктів або як резервних джерел живлення.	6
6.	Аналіз сучасних рішень для теплового акумулявання енергії в житлово-комунальному секторі: Дослідження різних методів теплового накопичення (баки-акумулятори, фазоперехідні матеріали) та їхнього застосування для оптимізації споживання енергії на опалення та гаряче водопостачання у багатоквартирних будинках або індивідуальних котеджах.	6
7.	Техніко-економічне обґрунтування будівництва малої гідроакумулюючої електростанції: Розгляд можливості будівництва малої ГАЕС у певному регіоні (на основі умовного рельєфу та водних ресурсів), включаючи оцінку потенційної потужності, ємності та попередній розрахунок вартості проекту.	6
8.	Огляд інноваційних технологій механічного накопичення енергії (маховики, стиснене повітря) та їхній потенціал: Дослідження останніх розробок у галузі маховикових накопичувачів та систем на стисненому повітрі (CAES), їхніх переваг для короткочасного накопичення великих обсягів енергії та застосування у мережевих додатках.	6
9.	Аналіз ефективності використання суперконденсаторів для згладжування пікових навантажень в електричних мережах: Вивчення принципів роботи та характеристик суперконденсаторів, їхньої здатності швидко віддавати та накопичувати енергію, а також сценаріїв їхнього застосування для підвищення якості електроенергії та стабілізації мереж.	6
10.	Дослідження впливу систем акумулявання енергії на стабільність та надійність локальних мікромереж (Microgrids): Аналіз ролі ESS у забезпеченні автономності, стабільності частоти та напруги, а також у підвищенні стійкості мікромереж до зовнішніх збурень та перебоїв у централізованому енергопостачанні.	6

6. Засоби діагностики результатів навчання

- екзамен;
- модульні тести;
- реферати;
- захист лабораторних та самостійних робіт;

7. Методи навчання

За характером логіки пізнання використовуються такі методи: аналітичний, синтетичний, аналітико-синтетичний, індуктивний, дедуктивний.

За рівнем самостійної розумової діяльності використовуються методи: проблемний, частково-пошуковий, дослідницький.

За джерелами знань використовуються такі методи навчання:

- словесний метод (лекція, дискусія, співбесіда тощо);
- практичний метод (лабораторні заняття);
- наочний метод (метод ілюстрацій, метод демонстрацій);
- робота з навчально-методичною літературою (конспектування, тезування, анотування, рецензування, складання реферату);
- відеометод (дистанційні, мультимедійні, веб-орієнтовані тощо);
- самостійна робота (виконання завдань);
- інші види.

8. Методи оцінювання

Оцінювання знань здобувача вищої освіти відбувається за 100-бальною шкалою і переводиться в національні оцінки згідно з табл. 1 чинного «Положення про екзамени та заліки у НУБіП України»

8.2. Шкала оцінювання знань здобувача вищої освіти

Рейтинг здобувача вищої освіти, бали	Оцінка національна та результати складання	
	екзаменів	заліків
90-100	відмінно	зараховано
74-89	добре	
60-73	задовільно	
0-59	незадовільно	не зараховано

8.3. Політика оцінювання

Політика щодо дедлайнів та перескладання:	Роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку. Перескладання модулів відбувається із дозволу лектора за наявності поважних причин.
Політика щодо академічної доброчесності:	Списування під час модульних атестацій та екзаменів заборонені (в т.ч. із використанням мобільних девайсів). Самостійні роботи повинні мати коректні текстові посилання на використану літературу
Політика щодо відвідування:	Відвідування занять є обов'язковим. За об'єктивних причин (наприклад, хвороба, міжнародне стажування) навчання може відбуватись індивідуально (в он-лайн формі за погодженням із деканом ННІ)

9. Методичне забезпечення

1. Електронний навчальний курс навчальної дисципліни (на навчальному порталі НУБіП України eLearn);
2. Конспекти лекцій та їх презентації (в електронному вигляді);
3. Підручники, навчальні посібники, практикуми;

4. Методичні матеріали щодо вивчення навчальної дисципліни для здобувачів вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти.

1. Рекомендована література

Україномовні джерела:

1. Кудря С.О. Відновлювана енергетика: технології, джерела, перспективи. – К.: Техніка, 2018. – 416 с.
2. ДСТУ EN 50272-2:2018 (EN 50272-2:2017, IDT). Вимоги щодо безпеки до акумуляторних батарей та їхніх установок. Частина 2. Стаціонарні батареї. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018.
3. Саєнко О.В., Саєнко М.О. Електрохімічні накопичувачі енергії. – Суми: Сумський державний університет, 2016. – 120 с.
4. Шідловський А.К., Ремез О.В., Кудря С.О. Енергоефективність: основи теорії та застосування. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 300 с.
5. Власюк А.П., Перегудов В.С., Сліпушкін Б.С. Енергетичні системи: виробництво, передача, розподіл. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. – 480 с.
6. Грицай М.М., Кравченко Ю.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: навчальний посібник. – К.: Каравела, 2010. – 312 с.
7. Іванов В.В., Ковальчук В.І. Електричні станції та підстанції. – Харків: ХНАМГ, 2012. – 450 с.
8. Коваленко А.П., Кулик В.В. Електричні системи та мережі: підручник. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 520 с.
9. Офіційний вебсайт Міністерства енергетики України: Розділи про розвиток енергетичної стратегії, відновлювані джерела та зберігання енергії. (Актуальні дані та стратегії).
10. Статті з наукових журналів України за тематикою "енергетичні накопичувачі", "smart grid", "відновлювана енергетика" (наприклад, "Технічна електродинаміка", "Енергетика та електрифікація", "Вісник НТУУ "КПІ"). (Актуальні дослідження та розробки).

Англомовні джерела:

1. Hadjipaschalis I., Poullikkas A., Efthymiou V. Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, Vol. 13, No. 6, pp. 1513–1522.
2. Chen H., Cong T.N., Yang W., et al. Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science: Materials International*, 2012, Vol. 22, No. 6, pp. 602–614.
3. Ter-Gazarian A. Energy Storage for Power Systems. 3rd ed. – London: The Institution of Engineering and Technology, 2011. – 480 p.
4. Masters G.M. Renewable and Efficient Electric Power Systems. 2nd ed. – Hoboken, NJ: Wiley, 2013. – 720 p.
5. Ehsani M., Yimin Gao Y., Emadi A. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design. 3rd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2010. – 688 p.
6. Schweitzer P. Power System Protection, Control and Automation. – Boca Raton:

CRC Press, 2017. – 500 p.

7. Dunn B., Kamath H., Tarascon J.-M. Electrical Energy Storage for the Grid: A Comparative Study of Technologies. *Science*, 2011, Vol. 334, No. 6058, pp. 928–935.
8. Vaclav Smil. Energy Transitions: History, Requirements, Prospects. – Praeger, 2010. – 280 p.
9. Li X., Zhu Y., Shi W., et al. Review of electrochemical energy storage technologies for grid-scale applications. *Journal of Power Sources*, 2021, Vol. 488, 229382.
10. IEEE Transactions on Power Systems, IEEE Transactions on Energy Conversion, IEEE Power and Energy Magazine. (Провідні наукові журнали, що публікують актуальні дослідження у сфері енергетики, включаючи накопичення та розподіл).

Стандарти:

1. ДСТУ 2267-93 Вироби електротехнічні. Терміни та визначення
2. ДСТУ ІЕС 60050-161-2003 Словник електротехнічних термінів. Глава 161. Електромагнітна сумісність (ІЕС 60050-161:1990, IDT)
3. ДСТУ ІЕС 60050-300-312:2006 Електротехнічний словник термінів. Електричні та електронні вимірювання і засоби вимірювальної техніки. Частина 312. Загальні терміни щодо електричного вимірювання (ІЕС 60050-300:2001, IDT)
4. ДСТУ ІЕС 60050-300-313:2006 Електротехнічний словник термінів. Електричні та електронні вимірювання і засоби вимірювальної техніки. Частина 313. Типи електричних засобів вимірювальної техніки (ІЕС 60050-300:2001, IDT)
5. ДСТУ ІЕС 60331-12:2007 Випробування електричних кабелів вогнем. Цілісність кіл. Частина 12. Устаткування для випробування за температури полум'я не менш ніж 830° С і механічного удару (ІЕС 60331-12:2002, IDT)
6. ДСТУ ІЕС 60331-25:2007 Випробування електричних кабелів вогнем. Цілісність кіл. Частина 25. Методика випробування. Волоконно-оптичні кабелі (ІЕС 60331-25:1999, IDT)
7. ДСТУ 2225-95 (ГОСТ 30421-96) Вимірювачі електричної ємності активного опору та тангенсу кута втрат високовольтні. Загальні технічні умови.
8. ДСТУ 2718-94 (ГОСТ 30217-94) Міри індуктивності, взаємної індуктивності і комплексної взаємної індуктивності. Загальні технічні умови
9. ДСТУ 2816-94 Матеріали магнітні. Методи визначення статичних магнітних характеристик зразків магніто-твердих матеріалів
10. ДСТУ ІЕС 60477-2001 Резистори постійного струму лабораторні (ІЕС 60477:1974)
11. ДСТУ ІЕС 60477-2-2001 Резистори лабораторні. Частина 2. Резистори змінного струму лабораторні (ІЕС 60477-2:1979, IDT)
12. ДСТУ ІЕС 60564:2004 Мости постійного струму для вимірювання опору (ІЕС 60564:1977, IDT)

Інформаційні ресурси

1. Міністерство освіти і науки України – <https://mon.gov.ua> Офіційний сайт, що містить нормативні документи, накази, стандарти освіти.

2. Наукова електронна бібліотека України (НаУКМА, НБУВ, ELib) – <https://www.nbu.gov.ua> Доступ до наукових публікацій, дисертацій, монографій у галузі енергетики.
3. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України – <https://saee.gov.ua> Актуальна інформація щодо енергозбереження, програм підвищення енергоефективності.
4. Портал відкритих даних України (Є-data) – <https://data.gov.ua> Відкриті ресурси щодо енергоспоживання, звітів підприємств, бюджетних даних.
5. Національна енергетична компанія «Укренерго» – <https://ua.energy> Статистична інформація щодо виробництва та споживання електроенергії в Україні.
6. Офіційний вебсайт НУБіП України– <https://nubip.edu.ua> Матеріали, методичні рекомендації, програми практик, звіти.
7. Scopus – <https://www.scopus.com> Бібліографічна та реферативна база даних для пошуку наукових джерел.
8. IEEE Xplore Digital Library – <https://ieeexplore.ieee.org> Повнотекстові публікації з електротехніки, енергетики, автоматизації.
9. Google Scholar – <https://scholar.google.com> Пошукова система для наукових джерел, статей, звітів, технічної документації.
10. Open Access Repository KPI – <https://ela.kpi.ua> Доступ до матеріалів конференцій, статей, курсових і дипломних робіт з енергетики.
11. <https://energy.kpi.ua> – Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія».
12. <https://lib.nubip.edu.ua> – електронна бібліотека НУБіП України.