

КОМПЕНСАЦІЯ НЕСТАБІЛЬНОСТІ НЕГАРАНТОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

(Вибіркова)

III (освітньо-науковий) рівень підготовки вищої освіти

галузь знань	14 – енергетична інженерія
спеціальність	141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
освітня кваліфікація	Доктор філософії

Викладач: к.т.н., доц. Рубаненко О. О.

Мова викладання: українська

Семестр – 4

Кредитів ЕКТС – 4

Лекцій – 24 год. (денна форма), **8 год.** (заочна форма)

Практичних – 16 год (денна форма), **8 год.** (заочна форма)

Самостійна робота – 80 год. (денна форма), **104 год.** (заочна форма)

Вид контролю – диф. залік

Передумови для вивчення дисципліни – Дисципліна «Компенсація нестабільності негарантованих джерел енергії в електроенергетичних системах» базується на знаннях з математичного моделювання в наукових дослідженнях, нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в електроенергетичних системах та електротехнічних комплексах. Вивчення дисципліни передбачає проведення власного наукового дослідження.

Мета викладання дисципліни полягає у формуванні компетентностей, необхідних для використання та розробки рішень в сфері енергетичної інженерії.

Основними завданнями вивчення дисципліни є підготовка фахівців здатних

використовувати знання у подальших дослідженнях та у енергетичній інженерії.

Програмні результати вивчення дисципліни

Згідно з освітньо-науковою програмою вивчення дисципліни здобувачами спрямоване на досягнення таких результатів:

ПР03. Знати і розуміти сучасні методи ведення науково-дослідної роботи, організації та планування експерименту, комп'ютеризованих методів дослідження та опрацювання результатів вимірювань.

ПР05. Уміти прогнозувати тенденції розвитку в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ПР06. Уміти аналізувати інженерні продукти, процеси та системи за встановленими критеріями, обирати і застосовувати найбільш придатні аналітичні, розрахункові та експериментальні методи для проведення досліджень, інтерпретувати результати досліджень.

ПР07. Уміти виконувати постановку, формулювання і розв'язання завдань у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, що пов'язані з процедурами спостереження об'єктів, вимірювання, контролю, діагностування і прогнозування з урахуванням важливості соціальних обмежень (суспільство, здоров'я і безпека, охорона довкілля, економіка, промисловість тощо).

ПР08. Уміти проектувати та розробляти інженерні продукти, процеси та системи автоматизованого виробництва, обирати і застосовувати методи комп'ютеризованих експериментальних досліджень.

ПР011. Уміти організовувати і проводити технічні випробування інженерних продуктів.

ПР013. Уміти застосовувати апаратні та програмні засоби сучасних інформаційних технологій для вирішення задач у сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки та інформаційно-вимірювальної техніки.

Компетентності, на набуття яких спрямоване вивчення дисципліни

К01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу, формування системного наукового світогляду.

К05. Здатність розв'язувати комплексні проблеми під час професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань, а також вирішення комплексних практичних завдань.

К06. Здатність дотримуватися принципів професійної етики та академічної доброчесності.

К07. Здатність до усного та письмового представлення результатів власних наукових досліджень.

ФК1. Здатність виявляти та вирішувати науково-практичні проблеми, ставити та розв'язувати задачі дослідницького характеру, приймати обґрунтовані рішення та самостійно працювати над їх практичною реалізацією.

ФК5. Здатність демонструвати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів керування електроенергетичними, електротехнічними та електромеханічними системами та комплексами.

ФК7. Здатність застосовувати відповідні математичні методи, комп'ютерні технології, а також засади стандартизації та сертифікації для розв'язання завдань в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК8. Здатність розробляти програмне та апаратне забезпечення комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем.

ФК9. Здатність впроваджувати новітні досягнення для проектування автоматизованого виробництва і автоматизованого розроблення або конструювання елементів електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.

ФК9. Здатність здійснювати аналіз техніко-економічних показників та експертизу проектно-конструкторських рішень в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки з використанням комп'ютерного моделювання.

ФК11. Здатність демонструвати розуміння технічних аспектів надійності та ефективності функціонування електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних об'єктів і систем.

ФК14. Здатність демонструвати обізнаність з питань надійності та ефективності функціонування електроенергетичних та електротехнічних систем з відновлюваними джерелами енергії, що зумовлені необхідністю забезпечення сталого розвитку.

ІК. Здатність розв'язувати комплексні проблеми під час професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань, а також вирішення комплексних практичних завдань.

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль 1. Дослідження проблеми компенсації нестабільності негарантованих джерел енергії

Тема 1. Вступ. Мета і задачі дисципліни. Структура курсу. Література.

Особливості функціонування електричних мереж з негарантованими джерелами енергії в сучасних умовах. Характерні ознаки розподільних електричних мереж України з ВДЕ. Стан обладнання ВДЕ та електричних мереж. Зміст поняття «негарантовані» джерела енергії та умови при яких ВДЕ є негарантованими. Тенденції зміни встановленої потужності та обсягів генерування електроенергії негарантованими джерелами в Україні та їх роль в реалізації світової стратегії декарбонізації.

Тема 2. Показники, які характеризують якість електропостачання та проаналізувати динаміку їх зміни в електричних мережах з негарантованими ВДЕ. Сценарії впливу ВДЕ на якість функціонування електричних мереж. Показники, які характеризують якість електропостачання, визначаються постановами НКРЕКП (SAIDI; SAIFI; MAIFI; ENS).

Тема 3. Відновлювані джерела енергії в розрахунках усталених режимів електроенергетичних систем. Особливості оптимального керування параметрами нормального режиму електроенергетичної системи (ЕЕС) з високим рівнем інтеграції

відновлюваних джерел генерування. Формування задачі оптимального керування параметрами нормального режиму ЕЕС з високим рівнем інтеграції відновлюваних джерел генерування та умов їх функціонування з врахуванням планового значення генерування ВДЕ, потужностей керованих ВДЕ (біогазових та водневих установок) та з врахуванням зміни технічного стану обладнання ВДЕ.

Змістовий модуль 2. Аналіз впливних факторів на нерівномірність генерування ВДЕ та заходи по компенсації їх впливу

Тема 4. Технічні та законодавчі заходи компенсації нестабільності ВДЕ. Технічні та законодавчі заходи компенсації нестабільності генерування негарантованими джерелами енергії, що дозволять забезпечити балансову та режимну надійність ЕЕС. Нормативно-правові документи, що регулюють визначення вартості небалансів для виробників ВДЕ за небаланси.

Тема 5. Теорії часових рядів, кореляційно-регресійного, частотного та вейвлет аналізу та їх застосування для аналізу генерування електроенергії ВДЕ. Теорія часових рядів та її застосування для аналізу генерування електроенергії ВДЕ. Способи оцінки часових рядів для представлення генерування ВДЕ. Методи оцінки генерування ВДЕ на нормальність. Основи кореляційного аналізу генерування ВДЕ з використанням коефіцієнта Пірсона, Спірмена, Кендела. Частотний аналіз вхідних даних для аналізу і прогнозування генерування ВДЕ. Вейвлет аналіз генерування електроенергії ВДЕ. Скалограма і скейлограма вейвлет аналізу часового ряду генерування електроенергії ВДЕ.

Тема 6. Метод визначення впливних метеорологічних факторів на генерування ВДЕ в залежності від локації з використанням кореляційно-регресійного аналізу.

Формування бази метеорологічних даних для аналізу впливу метеорологічних факторів на середньодобове генерування ВДЕ. Формування множини метеорологічних параметрів з використанням різних ресурсів: NASA Prediction of Worldwide energy resources POWER Release-8; Photovoltaic Geographical Information System, SolarGis, Meeonorm. Методика визначення впливних метеорологічних факторів на генерування ВДЕ в залежності від локації з використанням кореляційно-регресійного аналізу та Програмного комплексу аналізу генерування ВДЕ та впливу метеорологічних факторів створеного в ПЗ LabView.

Змістовий модуль 3. Прогнозування обсягу генерування ВДЕ з врахуванням впливу метеорологічних факторів та зміни технічного стану ВДЕ

Тема 7. Прогнозування генерування електроенергії ВДЕ. Оцінка чутливості генерування до зміни метеорологічних факторів.

Класифікація задач прогнозування в залежності від призначення використання прогнозованих даних. Класифікація методів прогнозування часових рядів генерування електроенергії ВДЕ. Застосування теорії аналізу чутливості генерування ВДЕ до зміни метеорологічних факторів та технологічних умов електричних станцій та електричних

мереж.

Тема 8. Метод аналізу дерева відмов (Fault tree analysis (FTA)) в задачах для визначення технічного стану ВДЕ.

Побудова дерева відмов. Опис і структура дерева відмов. Поєднання дерева відмов з іншими методами аналізу надійності. Розробка та оцінка дерев відмов. Розробка кількісного FTA. Паралельна конфігурація системи, резервні системи. Візуальне зображення дерев відмов. Алгоритм побудови. Оцінка дерева відмов. Логічний аналіз. Ідентифікація мінімальних наборів зрізів. Числовий аналіз. Оцінювання надійності електричної мережі та побудова FTA. Оцінка надійності роботи електричної мережі з використанням методу Езарі-Прошана. Обчислення виняткових подій. Аналіз технічного стану фотоелектричних станцій. Розробка FTA ВДЕ.

Тема 9. Аналіз пошкоджуваності ВДЕ.

Аналіз технічного стану фотоелектричних станцій. Розробка FTA ФЕС. Розробка FTA ФЕМ. Аналіз пошкоджуваності ФЕМ за кордоном. Основні дефекти ФЕМ які експлуатуються на закордонних ФЕС. Основні дефекти ФЕМ які експлуатуються на вітчизняних ФЕС.

Тема 10. Визначення технічного стану ВДЕ на прикладі фотоелектричної станції (ФЕС). Застосування нейро-нечіткого моделювання для визначення технічного стану ВДЕ на прикладі ФЕС.

Формування структурної схеми моделі коефіцієнта залишкового ресурсу ФЕМ. Метод визначення коефіцієнту загального залишкового ресурсу ФЕМ з використання модуля Anfis ПК MATLAB. Формування математичної моделі коефіцієнта загального залишкового ресурсу. Визначення коефіцієнту загального залишкового ресурсу ФЕМ. Аналіз технічного стану фотоелектричних станцій. Розробка FTA ВДЕ.

Змістовий модуль 4. Компенсація впливу нестабільності генерування ВДЕ на режимну та балансову надійність електричних мереж

Тема 11. Компенсація впливу нестабільності генерування ВДЕ на режимну та балансову надійність електричних мереж.

Режимна і балансова надійності. Технології компенсації впливу нестабільності генерування ВДЕ. Використання ГЕС для компенсаційної нестабільності негарантованих електростанцій. Передумови компенсації нестабільності генерування за допомогою ГЕС. Аналіз генерування міні-ГЕС. Адаптація зарубіжного досвіду вдосконалення будови гідро-комплексів. Удосконалення конструкцій мікрогідроелектростанцій. Дослідження чутливості генерування ГЕС до зміни метеорологічних факторів. Використання водневих технологій для компенсаційної нестабільності негарантованих електростанцій. Отримання водню. Аналіз нестабільності генерування електроенергії вітровою електростанцією (ВЕС). Визначення впливу метеорологічних факторів на генерування електроенергії ВЕС. Аналіз нестабільності генерування електроенергії фотоелектричною станцією (ФЕС). Визначення впливу метеорологічних факторів на генерування електроенергії ФЕС.

Розрахунок генерування електроенергії з використанням водневих технологій. Методика визначення оптимального значення ціни електроенергії та водню в електроенергетичних системах з використанням водневих технологій. Розробка біогазової установки для компенсаційної нестабільності негарантованих електростанцій. Міні-ТЕЦ.

Тема 12. Дослідження впливу ВДЕ на якість електроенергії в електричних мережах. Аналіз впливу ВЕС на якість електричної енергії. Аналіз впливу ФЕС на якість електричної енергії. Аналіз показників якості електричної енергії за результатами експериментальних досліджень або змодельованих даних в Simulink MATLAB.

Тема 13. Підсумки.

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
Змістовний модуль 1			
1.	Тема 1. Вступ. Мета і задачі дисципліни. Структура курсу. Література.	-	-
2.	Тема 2. Показники, які характеризують якість електропостачання та проаналізувати динаміку їх зміни в електричних мережах з негарантованими ВДЕ.	2	1
3.	Тема 3. Відновлювані джерела енергії в розрахунках усталених режимів електроенергетичних систем.	2	1
	Всього	4	2
Змістовний модуль 2			
4.	Тема 4. Технічні та законодавчі заходи компенсації нестабільності ВДЕ.	1	1
5.	Тема 5. Теорії часових рядів, кореляційно-регресійного, частотного та вейвлет аналізу та їх застосування для аналізу генерування електроенергії ВДЕ.	1	-
6.	Тема 6. Метод визначення впливних метеорологічних факторів на генерування ВДЕ в залежності від локації з використанням кореляційно-регресійного аналізу.	1	-
	Всього	3	1
Змістовний модуль 3			
7.	Тема 7. Прогнозування генерування електроенергії ВДЕ. Оцінка чутливості генерування до зміни метеорологічних факторів.	1	1
8.	Тема 8. Метод аналізу дерева відмов (Fault tree analysis (FTA)) в задачах для визначення технічного стану ВДЕ.	1	1
9.	Тема 9. Аналіз пошкоджуваності ВДЕ.	2	1
10.	Тема 10. Визначення технічного стану ВДЕ на прикладі фотоелектричної станції (ФЕС). Застосування нейро-нечіткого моделювання для визначення технічного стану ВДЕ на прикладі ФЕС.	1	-
	Всього	5	3

Змістовний модуль 4			
11.	Тема 11. Компенсація впливу нестабільності генерування ВДЕ на режимну та балансову надійність електричних мереж.	2	1
12.	Тема 12. Дослідження впливу ВДЕ на якість електроенергії в електричних мережах.	2	1
13.	Тема 13. Підсумки	-	-
	Всього	4	2
	Разом	16	8

7. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин (денна форма)	Кількість годин (заочна форма)
Змістовний модуль 1			
1.	Тема 1. Тенденції зміни встановленої потужності та обсягів генерування електроенергії негарантованими джерелами в Україні та їх роль в реалізації світової стратегії декарбонізації.	8	8
2.	Тема 2. Показники, які характеризують якість електропостачання	2	2
3.	Тема 3. Особливості оптимального керування параметрами нормального режиму електроенергетичної системи (ЕЕС) з високим рівнем інтеграції відновлюваних джерел генерування.	10	16
	Всього	20	26
Змістовний модуль 2			
4.	Тема 4. Нормативно-правові документи, що регулюють визначення вартості небалансів для виробників ВДЕ за небаланси.	8	10
5.	Тема 5. Теорія часових рядів та її застосування для аналізу генерування електроенергії ВДЕ.	6	10
6.	Тема 6. Формування множини метеорологічних параметрів з використанням різних ресурсів: NASA Prediction of Worldwide energy resources POWER Release-8; Photovoltaic Geographical Information System, Solargis, Meteonorm.	6	6
	Всього	20	26
Змістовний модуль 3			
7.	Тема 7. Класифікація задач прогнозування в залежності від призначення використання прогнозованих даних.	5	6
8.	Тема 8. Побудова дерева відмов. Опис і структура дерева відмов. Поєднання дерева відмов з іншими методами аналізу надійності.	5	6
9.	Тема 9. Основні дефекти ФЕМ які експлуатуються на вітчизняних ФЕС.	5	6
10.	Тема 10. Розробка FTA ВДЕ.	5	8
	Всього	20	26
Змістовний модуль 4			
11.	Тема 11. Отримання водню.	10	14
12.	Тема 12. Аналіз впливу ВЕС на якість електричної енергії. Аналіз впливу ФЕС на якість електричної енергії.	10	12
	Всього	20	26
	Разом	80	104

Індивідуальні завдання

Робочим навчальним планом передбачена індивідуальна робота: дослідження з окремих тем курсу та доповіді на щорічну науково-теоретичну конференцію викладачів, співробітників та студентів ВНТУ та інші науково-технічні конференції та семінари, підготовка наукових публікацій.

Методи навчання

Лекція, проблемна лекція, демонстрація, зокрема, з використанням мультимедійних засобів навчання, практичні роботи, підготовка рефератів, доповідей науково-дослідного характеру, зокрема, на щорічну науково-технічну конференцію викладачів, співробітників та студентів ВНТУ та інші науково-технічні конференції та семінари, підготовка наукових публікацій.

Методи контролю

Поточний контроль здійснюється у формі фронтального, індивідуального чи комбінованого контролю знань здобувачів під час практичного заняття, тестування, 2 колоквиуми, диференційованого заліку.

Оцінювання знань, умінь та навичок студентів з окремих видів роботи та в цілому по модулях (в балах)

Вид роботи	Модуль
	1
Змістовний модуль 1	
1. Індивідуальні аналітичні роботи	10
Змістовний модуль 2	
1. Підготовка до практичних занять і контрольні роботи	10
2. Індивідуальні аналітичні роботи	10
3. Колоквиум	20
Змістовний модуль 3	
1. Підготовка до практичних занять і контрольні роботи	5
2. Індивідуальні аналітичні роботи	5
3. Колоквиум	15
Змістовний модуль 4	
1. Підготовка до практичних занять і контрольні роботи	5
2. Індивідуальні аналітичні роботи	5
3. Колоквиум	15
Залік	-
Всього	100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90 – 100	A	відмінно
82-89	B	добре
75-81	C	
64-74	D	задовільно
60-63	E	
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Політика курсу

Викладач та всі здобувачі, що вивчають цей курс, зобов'язуються дотримуватись таких положень [Кодекс етики ВНТУ](#), [Положення про академічну доброчесність студентів та науково-педагогічних працівників ВНТУ](#), [Положення про рейтингову систему оцінювання досягнень студентів у ВНТУ](#) та розуміють, що за їх порушення несуть особисту відповідальність.

Базові інформаційні ресурси

1. Kuchanskyi V., Nesterko A., Rubanenko O., Hunko I. Modes of electrical systems and grids with renewable energy sources. Riga, Latvia, European Union: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. 210 p.
2. Lezhniuk P., Rubanenko O., Rubanenko O. Determination of optimal transformation ratios of power system transformers in conditions of incomplete Information regarding the values of diagnostic parameters. Chapter of book: Fuzzy Logic. London, UK: IntechOpen Limited. 2019., p. 1-29.
3. Математичне моделювання в електроенергетиці: Підручник. / О. В. Кириленко, М. С. Сегеда, О. Ф. Буткевич, Т. А. Мазур. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2010. – 608 с.
4. O. Rubanenko, I. Hunko, O. Rubanenko, and A. Rassõlkin, "Influence of Solar Power Plants on 0.4 kV Consumers," in 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 2019, pp. 1-5.
5. Lezhniuk, P., Teptya, V., Komar, V., and Rubanenko, O. Principle of Least Action in Models and Algorithms of Optimisation States Power System. *Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International Scientific and Practical Conference*, 2019, pp. 73-176.
6. S. L. Gundebommu, I. Hunko, O. Rubanenko, and V. Kuchanskyy, "Assessment of the Power Quality in Electric Networks with Wind Power Plants," in 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 2020, pp. 190-194.

7. S. L. Gundebommu, O. Rubanenko, and M. Cosovic, "Determination of Normative Value Power Losses in Distribution power grids with Renewable Energy Sources using Criterion Method," in 2020 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2020, pp. 1-6.
8. G. S. Lakshmi, O. Rubanenko, G. Divya, and V. Lavanya, "Distribution Energy Generation using Renewable Energy Sources," in 2020 IEEE India Council International Subsections Conference (INDISCON), 2020, pp. 108-113.
9. P. Lezhniuk, V. Komar, and O. Rubanenko, "Information Support for the Task of Estimation the Quality of Functioning of the Electricity Distribution Power Grids with Renewable Energy Source," in 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 2020, pp. 168-171.
10. P. Lezhniuk, O. Rubanenko, V. Komar, and O. Sikorska, "The Sensitivity of the Model of the Process Making the Optimal Decision for Electric Power Systems in Relative Units," in 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 2020, pp. 247-252.
11. O. Rubanenko, O. Miroshnyk, S. Shevchenko, V. Yanovych, D. Danylchenko, and O. Rubanenko, "Distribution of Wind Power Generation Dependently of Meteorological Factors," in 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 2020, pp. 472-477.
12. O. Rubanenko and V. Yanovych, "Analysis of instability generation of Photovoltaic power station," in 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 2020, pp. 128-133.
13. O. Rubanenko, V. Yanovych, O. Miroshnyk, and D. Danylchenko, "Hydroelectric Power Generation for Compensation Instability of Non-guaranteed Power Plants," in 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), 2020, pp. 52-56.
14. M. A. Keith McIntosh, Ben Sudbury. (2020). *PV Lighthouse is a website of online resources for photovoltaic (PV) engineers and scientists.* Available: <https://www2.pvlighthouse.com.au/calculators/solar%20path%20calculator/solar%20path%20calculator.aspx>
15. S. M. Jan Remund, Michael Schmutz and Pascal Graf. (2020). *Meteonorm Software Worldwide irradiation data. Meteonorm Version 8.* Available: https://meteonorm.com/assets/publications/5BV.3.8_pvsec_2020_mn8.pdf
16. *Neuro-Adaptive Learning and ANFIS.* Available: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/neuro-adaptive-learning-and-anfis.html>
17. S. Patel. (2020). *World's First Integrated Hydrogen Power-to-Power Demonstration Launched.* Available: <https://www.powermag.com/worlds-first-integrated-hydrogen-power-to-power-demonstration-launched/>