



## РОБОТА ЕНЕРГОУСТАНОВОК З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ В ЦЕНТРАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (освітньо-професійний)
Галузь знань	14 «Електрична інженерія»
Спеціальність	141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма	Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	5курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	135 годин/4,5 кредитів ECTS (лекцій – 36, практичних занять – 18, самостійна робота - 81)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен/ РГР/МКР
Розклад занять	Лекційні заняття – 1 раз на тиждень; практичні заняття – 1 раз на два тижні
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.ф.-м.н, професор, Гаєвський Олександр Юлійович, +380 975704643, <a href="mailto:aj.gaevsky@gmail.com">aj.gaevsky@gmail.com</a> ; Практичні: Іванчук Владислав Юрійович,
Розміщення курсу	<a href="https://classroom.google.com/c/NTkxNzk0OTQ3NDg4?cjc=lmlm7i6">https://classroom.google.com/c/NTkxNzk0OTQ3NDg4?cjc=lmlm7i6</a>

#### Програма навчальної дисципліни

##### Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Програма навчальної дисципліни «Робота енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії в центральних мережах» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки професійного магістра з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

**Метою навчальної дисципліни** є формування у студентів чіткого розуміння інженерних аспектів підключення ВДЕ-об'єктів до передавальних мереж, а також принципів функціонування цих об'єктів у складі енергосистем; вміння самостійно оцінювати вплив розподіленої ВДЕ-генерації на мережу та енергосистему в цілому.

**Предметом навчальної дисципліни** є методи вирішення різноманітних задач інтегрування ВДЕ-об'єктів у електричні мережі різного масштабу.

### **Програмні результати навчання:**

Компетенції: здатність робити оціночні розрахунки впливу підключення генераторів на ВДЕ до електричних мереж; розраховувати відповідні схеми за допомогою відповідних програмних пакетів.

Знання: функцій та принципів роботи ВДЕ-об'єктів в складі енергосистеми; термінології, що стосується основних понять дисципліни; взаємодії ВДЕ-об'єктів з іншими компонентами енергетичних систем; електротехнічних основ роботи ВДЕ-об'єктів та відповідного обладнання; питань різноманітних спотворень в мережах, обумовлених традиційними та ВДЕ-об'єктами.

Уміння: створювати електротехнічні схеми приєднання ВДЕ-генераторів до мережі; вимірювати та аналізувати параметри роботи основних інтерфейсних компонент ВДЕ-об'єктів – інверторів і трансформаторів; кваліфіковано виконувати підбір обладнання для підключення ВДЕ-об'єкта до мережі та ін.

Досвід: використання програмних додатків для розрахунку потоків потужності в енергосистемі з ВДЕ-генерацією; використання деяких функцій для прогнозування ВДЕ-генерації. створення електричних схем підключення ВДЕ-об'єктів до мереж.

### **Зміст навчальної дисципліни**

*РОЗДІЛ 1. Проблеми інтегрування ВДЕ в енергосистему*

*Тема 1.1 Нерегулярність ВДЕ-генерації та питання резервування*

*Тема 1.2. Регулювання ВДЕ-генераторів та ВДЕ-кластерів*

*РОЗДІЛ 2. Енергосистеми з розподіленою генерацією*

*Тема 2.1. Традиційні компоненти енергосистем*

*Тема 2.2. Об'єкти ВДЕ-генерації в складі енергосистеми*

*Тема 2.3. Концепція Smart Grid*

*РОЗДІЛ 3. Прогнозування потужності та виробітку електроенергії розподіленими об'єктами ВДЕ- генерації*

*Тема 3.1. Основи методів прогнозування сонячної радіації та швидкості вітру*

*Тема 3.2. Вимірювання та обробка метеорологічних даних*

*Тема 3.3. Супутникові технології прогнозування сонячної радіації та потужності ФЕС*

### **Навчальні матеріали та ресурси**

Основні інформаційні ресурси:

1. Меркурьев, Г.В. Устойчивость энергосистем / Г.В. Меркурьев, Ю.М. Шаргин. В 2-х т. - СПб.: НОУ "Центр подготовки кадров энергетики", 2008. - Т. 2. - 376 с.

2. Kothari D. P., Nagrath I. J. Modern Power System Analysis / New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2003. – 694 p.

3. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. М: Энергоатомиздат, 1989. – 594 с.

4. Гаевский А.Ю., Голентус И.Э. Стабилизация напряжения в сети путем компенсации реактивной мощности инверторами ФЭС / *Відновлювана енергетика XXI століття: XIV Міжнародна науково-практична конференція.* – Крим, 2013. – с. 243 – 247.
5. Яндутьський О. С., Труніна Г. О. Визначення зон ефективного регулювання напруги джерелами розосередженої генерації з інверторним приєднанням у розподільній електричній мережі / *Наукові праці Вінницького НТУ,* 2014. - № 4, с.62 – 64.
6. Padiyar K. R. *FACTS controllers in power transmission and distribution / New Delhi: New Age International (P) Ltd., Publishers, 2007.* – 532 p.
7. S.B. Kjaer et al. *A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules//IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 41, No. 5, 2005.* - p.1292 – 1306.
8. J.V. Paatero, P.D. Lund. *Effects of large-scale photovoltaic power integration on electricity distribution networks //Renewable Energy 32 (2007) 216–234.*
9. M.A. Eltawil, Z. Zhao. *Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems—A review //Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 112–129.*
10. D.J. Sundar, M.S. Kumaran. *A Comparative Review of Islanding Detection Schemes in Distributed Generation Systems//International Journal of Renewable Energy Research. -Vol.5, No.4, 2015. p. 1016 – 1023.*
11. J.M. Carrasco. *Power-Electronic Systems for the Grid Integration of Renewable Energy Sources: A Survey//IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 53, No. 4, 2006.* - p.1002-1016.
12. E. Carestia et al. *Solar Plant Fault Detection and Diagnostics Software. NASA ESMD Paper Competition: Florida Gulf Coast University, March 21, 2011.* - 51 p.
13. M. Gagliarducci, D.A. Lampasi, L. Podesta. *GSM-based monitoring and control of photovoltaic power generation // Measurement 40 (2007) 314–321*
14. M.Paulescu et al. *Weather Modeling and Forecasting of PV Systems Operation. London: Springer-Verlag, 2013.* – 362 p.
15. F. Vignola et al. *Analysis of satellite derived beam and global solar radiation data//Solar Energy 81 (2007) 768–772.*
16. Cano D., Monget J. M., Albuisson M., Guillard H., Regas N., Wald L.: *A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellite data// Solar Energy, 1986, 37 (1), 31–39.*
17. А.Ю. Гаевский, О.В. Ушкаленко. *Статистическое прогнозирование солнечной радиации на основе спутниковых снимков. Алгоритм «вытеснения» // Відновлювана енергетика.* – 2014. - №4. – с. 50-53.
18. C. Paoli et al. *Forecasting of preprocessed daily solar radiation time series using neural networks //Solar Energy 84 (2010) 2146–2160.*

## Навчальний контент

### I. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

#### Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекцій та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
-------	--

1	<i>Проблеми інтегрування ВДЕ в енергосистему. Неконтрольована варіативність. Часткова непередбачуваність. Залежність від місця розташування об'єкта ВДЕ. Заходи по компенсації флуктуацій інжекції енергії в мережу. Забезпечення балансу реальної і прогнозованою генерації. Резерв обертання (гарячий) і холодний резерв. Резерв заміщення.</i>
2	<i>Особливості фотоелектричної генерації. Особливості вітрогенерації. Типові можливості передачі енергії через ЛЕП. Прогнозування потужності від ВДЕ. Фізичні та статистичні методи прогнозування. Точність прогнозів і її залежність від горизонту прогнозування</i>
3	<i>Можливості оперативного управління відновлюваної генерацією. Регулювання напругою і реактивною потужністю. Діагностика ушкоджень і дефектів. Управління активною потужністю. Регулювання частоти. Інерційний відгук на флуктуації генерації. Обмеження струмів короткого замикання. Централізоване управління ВДЕ-кластером</i>
4	<i>Підвищення гнучкості традиційної генерації при високому ступені проникнення ВДЕ в енергосистему. Резервування за рахунок гідроелектричних станцій, ТЕС, газотурбінних установок комбінованого циклу.</i>
5	<i>Енергосистема України. Однофазна модель збалансованої трифазної мережі. Трифазні трансформатори. Відносні одиниці. Трифазна навантаження, моделі навантаження. Синхронний генератор. Режими роботи синхронного генератора / двигуна.</i>
6	<i>Передавальні лінії. Потіки потужності в радіальній передавальній лінії. Коротка передавальна лінія. Передавальна лінія середньої довжини. Еквівалентна схема довгої передавальної лінії. Управління напругою. Інжекція реактивної потужності. Визначення потужності і розподілення компенсуючих пристроїв</i>
7	<i>Методи розрахунку енергосистеми з розподіленою генерацією (РГ). Моделі генерації для ФЕС і ВЕС. Моделі навантажень. Вхідні дані. Ефект орієнтації фотопанелів. Вплив затінення фотопанелів. Вплив ступеня проникнення ВДЕ генерації на роботу енергосистеми. Схематичні діаграми підключення ФЕС і ВЕС до мереж. Стратегії регулювання напруги інверторами ФЕС. Можливості компенсації реактивної потужності інверторами ФЕС. Профілі напруги в мережах з РГ. Аналіз європейських мереж з розподіленою генерацією. Аналіз потоків потужності при наявності розподіленої генерації</i>
8	<i>Трансформаторні та бестрансформаторні підключення до мережі. Пульсації вихідній напруги інверторів. Якість потужності ВДЕ генерації. Методи визначення «островкування» мережевих ФЕС і ВЕС (вимірювання фази мережевої напруги, вимірювання швидкості змінення частоти та ін.).</i>
9	<i>Функції інверторів для підтримання мережі. Криві керування напругою та частотою за допомогою інверторів. Захист від КЗ. Електромагнітна інтерференція. Захист від імпульсних перенапруг. Функції керування напругою, компенсації реактивної потужності, виявлення дефектів. Вимоги до інверторів з боку мережі.</i>
10	<i>Структура Smart Grid. Вимірювальні системи. Розподілена система оперативного керування. Система зовнішнього керування. Геоінформаційна система. Інтелектуальні електронні пристрої. Система енергоменеджменту.</i>

	<i>Способи оцінки ефективності роботи ВДЕ-генераторів. Причини втрати енергії від ВДЕ. Необхідні параметри для моніторингу в Smart Grid. Типи дефектів та пошкоджень в роботі мереж з розподіленою генерацією. Діагностика та прогнозування ушкоджень.</i>
11	<i>Збір даних про роботу ВДЕ-генераторів в реальному часі. Архітектура систем моніторингу (СМ). Моделі даних. Моделі сервісів. Архітектура сервер-клієнт. Моніторингове обладнання. Програмне забезпечення СМ. Локальний і видалений моніторинг. Використання спеціалізованих програмних додатків та систем в процесі проектування та моніторингу ФЕС. Системи моніторингу та діагностики NASA, SPYCE та ін</i>
12	<i>Проблеми прогнозування потужності та виробітку ФЕС. Горизонти прогнозування. Фактори, які впливають на сонячну радіацію та потужність ФЕС. Фізичні та статистичні методи прогнозування. Моделі NWP (Numerical Weather Prediction). Статистична обробка даних фізичних моделей (Model Output Statistics– MOS).</i>
13	<i>Метеорологічні та енергетичні вимірювання та асиміляція експериментальних даних. Методи часових рядів (AR, ARIMA). Сверх-короткострокові прогнози (мени години) на основі фотографування небосхилу</i>
14	<i>Наземні та супутникові вимірювання. Термоелектричний актинометр. Гелиостат. Термоелектричний піранометр Янішевського. Альбедометр. Прилади SkyCat для знімків хмарності небосхилу. Супутникові радіометри MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Спектрометр озонного шару TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer). Порівняння даних наземних і супутникових вимірювань сонячної радіації</i>
15	<i>Зображення хмарності за допомогою системи METEOSAT. Модель адвекції хмар. Метод кореляційних функцій. Методи оптичного потоку. Поле векторів швидкості (Motion Vector Fields, MVF) – розрахунок на основі супутникових світлин. Використання апарату штучних нейронних мереж. Модель випадкових марковських полів.</i>
16	<i>Екстраполяція та фільтрація полів векторів швидкості вітру. Функції та методи фільтрації. Розрахунок індексу хмарності та сонячної радіації методом HELIOSAT. Регресійні залежності методу.</i>
17	<i>Реалізація методів прогнозування сонячної радіації в програмних додатках. Розрахунок передбачуваних потужності та виробітку електроенергії ФЕС. Моделі ВДЕ-генераторів та ФЕС в прогнозних розрахунках. Погрішності прогнозування виробітку енергії</i>
18	<i>Семестрова контрольна робота</i>

### **Практичні заняття**

<b>№ з/п</b>	<b>Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)</b>
1	<i>Розрахунки простих передавальних ліній та їх характеристик</i>
2	<i>Розрахунки у відносних одиницях енергосистеми «генератор-трансформатор-трифазна передавальна лінія – трансформатор-навантаження і генератор».</i>
3	<i>Розрахунок потоків потужності через радіальну передавальну лінію.</i>

4	Засвоєння методів для численного рішення системи нелінійних рівнянь: Ньютона, Зейделя, простих ітерацій
5	Обчислення у пакеті MATLAB вузлових потенціалів і втрат 4-вузельної енергосистеми.
6	Розрахунок впливу підключення ВЕС до енергосистеми на потоки потужності та втрати.
7	Засвоєння основ розрахунку хмарності та сонячної радіації методом HELIOSAT.
8	Розрахунок приклада короткострокового прогнозування виробітку електроенергії ФЕС.
9	Додаткова задача практичних робіт

### Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Опанування лекційного матеріалу	16
2	Підготовка завдань практичних занять	16
3	Підготовка для МКР	8
5	Виконання РГР	20
6	Підготовка до екзамену	21
	Всього	81

### Політика та контроль

#### 2. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- правила відвідування занять: відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують не за присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, а за відповідну навчальну активність на лекційних заняттях.
- правила поведінки на заняттях: аспірант має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Має право використовувати засоби зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті;
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів: заохочувальні та штрафні бали не входять до основної шкали РСО, а їх сума не перевищує 10% стартової шкали.
- політика щодо академічної доброчесності встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни “Сучасні тенденції інтегрування відновлюваних джерел енергії в енергомережу”;
- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соц.мережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

#### Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: опитування під час задачі практичних робіт, розрахункової роботи, модульних контрольних робіт, експрес-опитування на лекціях.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: *екзамен*

**Умови допуску до семестрового контролю:** мінімальний семестровий рейтинг більше 40 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<b>Кількість балів</b>	<b>Оцінка</b>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Загальна рейтингова оцінка студента після завершення семестру складається з балів, отриманих за:

- виконання практичних робіт;
- виконання РГР;
- МКР

Практичні заняття	МКР	РГР	Rc	Рекз	R
Rn	Rm	Rp			
45	5	10	60	40	100

### **Розв'язання завдань практичних занять**

Ваговий бал – 5.

Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях –

5 бали \* 9 = 45 бали.

#### **Критерії оцінювання**

5 балів

- Завдання виконано самостійно, без помилок, звіт не має зауважень; на питання викладача надані вірні відповіді.

4 бали

- Завдання виконано самостійно, без помилок, але на питання викладача надана не точна відповідь;
- Завдання виконано самостійно, але не повністю (але >90%);
- Завдання виконано самостійно, з несуттєвими помилками.

3 бали

- Завдання відповідає критеріям А, але на питання викладача надані невірні відповіді.
- Завдання виконано самостійно, але не повністю (але >80%).

2 бали

- Завдання відповідає критеріям одному з критеріїв С, але з відсотком виконання <80% (але >70%).
- Завдання виконано несамотійно. на питання викладача надавалися невірні відповіді.

1 бал

- Виконана лише частина завдання (<60%) без помилок.
- Завдання виконано на >80%, але на більшість питань викладача надавалися невірні відповіді.

*-Робота є компіляцією чужої роботи (або звіту), але на більшість питань викладача надавалися вірні відповіді.*

*0 балів*

*-Виконане завдання не відповідає жодному з критеріїв, наведених вище.*

### **Модульна контрольна робота**

*Ваговий бал – 5. За період навчання запланована 1 модульна контрольна робота відповідно до розділів лекційного матеріалу. Виконується як індивідуальне завдання згідно варіанту. Кожне питання сформоване з використанням матеріалу лекційних занять. Студент повинен надати розгорнуті відповіді на теоретичні питання, сформулювати сутність явищ, надати математичний опис. Перескладання МКР не заплановані.*

#### **Критерії оцінювання**

- повне виконання роботи – 5 балів;*
- виконання з незначними помилками , одно з завдань виконано не повністю – 3-4 ...бали;*
- суттєві помилки при виконанні завдань, або виконано лише одно з завдань – 1 -2 бали;*

### **Індивідуальне семестрове завдання (РГР)**

#### **Критерії оцінювання**

*10 балів*

*- Завдання виконано самостійно, без помилок, звіт не має зауважень; на питання викладача надані вірні відповіді.*

*8 бали*

*- Завдання виконано самостійно, без помилок, але на питання викладача надана не точна відповідь;*

*- Завдання виконано самостійно, але не повністю (але >90%);*

*- Завдання виконано самостійно, з несуттєвими помилками.*

*6 бали*

*- Завдання відповідає критеріям А, але на питання викладача надані невірні відповіді.*

*- Завдання виконано самостійно, але не повністю (але >80%).*

*4 бали*

*-Завдання відповідає критеріям одному з критеріїв С, але з відсотком виконання <80% (але >70%).*

*-Завдання виконано несамотійно. на питання викладача надавалися невірні відповіді.*

*2 бали*

*-Виконана лише частина завдання (<60%) без помилок.*

*-Завдання виконано на >80%, але на більшість питань викладача надавалися невірні відповіді.*

*-Робота є компіляцією чужої роботи (або звіту), але на більшість питань викладача надавалися вірні відповіді.*

*0 балів*

*-Виконане завдання не відповідає жодному з критеріїв, наведених вище.*

### **Календарний контроль**



*Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці. Умовою позитивної атестації є значення поточного рейтингу студента не менше 50% від максимально можливого на час атестації.*

*Максимальний рейтинг за семестр, визначається з виразом:*

$$R_S = R_{IT} + R_{МКР} + R_{РГР} = 45 + 5 + 10 = 60 \text{ балів}$$

### **Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

*Перелік тем, які виносяться на семестровий контроль:*

- 1. Нерегулярність ВДЕ-генерації та питання резервування*
- 2. Регулювання ВДЕ-генераторів та ВДЕ-кластерів*
- 3. Традиційні компоненти енергосистем*
- 4. Об'єкти ВДЕ-генерації в складі енергосистеми*
- 5. Концепція Smart Grid*
- 6. Основи методів прогнозування сонячної радіації та швидкості вітру*
- 7. Вимірювання та обробка метеорологічних даних*
- 8. Супутникові технології прогнозування сонячної радіації та потужності ФЕС*

### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** професором кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА, д.ф.-м.н., Гаєвським О.Ю.

**Ухвалено** кафедрою відновлюваних джерел енергії ФЕА (протокол № 10 від 17.05.22 р).

**Погоджено** Методичною комісією факультету (протокол №10 від 16.06.22 р.).