



# ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>14 «Електрична інженерія»</i>
Спеціальність	<i>141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</i>
Освітня програма	<b>НЕТРАДИЦІЙНІ ТА ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ</b>
Статус дисципліни	<i>Варіативна</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна)/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>I курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150 години / 5 кредитів ECTS (лекцій – 36, практичних занять – 18, самостійна робота - 96)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен/МКР /ДКР/ПЗ</i>
Розклад занять	<i>Лекційні заняття – 1 раз на тиждень; практичні заняття – 1 раз на два тижні</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к.т.н. Вишневська Юлія Павлівна</i> Практичні: <i>к.т.н. Вишневська Юлія Павлівна</i>
Розміщення курсу	<a href="https://discord.gg/bsuVrYy">https://discord.gg/bsuVrYy</a>

### Програма навчальної дисципліни

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

Програма навчальної дисципліни «Воднева енергетика» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки магістрів з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

**Метою навчальної дисципліни** є формування у студентів чіткого розуміння теоретичних та термодинамічних основ методів отримання, зберігання та використання водню, фундаментальних аспектів відновлювано-водневої енергетики, систем акумулювання водню.

**Предмет навчальної дисципліни** – формування у студентів чіткого розуміння процесів отримання, зберігання, використання та акумулювання водню. Це дозволить здійснювати пошук оптимальних рішень при створенні систем акумулювання, впровадженні заходів енергозбереження для збереження навколишнього середовища.

**Програмні результати навчання:** Компетенції: ЗК01. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. ЗК02. Здатність до використання інформаційних і комунікаційних технологій. ЗК03. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. ЗК04. Здатність використовувати іноземну мову для здійснення науково-технічної діяльності. ЗК05. Здатність приймати обґрунтовані рішення. ЗК06. Здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями. ЗК07. Здатність виявляти та оцінювати ризики. ЗК08. Здатність працювати автономно та в команді.

(ФК ) ФК01. Здатність застосовувати отримані теоретичні знання, наукові і технічні методи для вирішення науково-технічних проблем і задач електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. ФК02. Здатність застосовувати існуючі та розробляти нові методи,

методики, технології та процедури для вирішення інженерних завдань електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. ФК04. Здатність розробляти та впроваджувати заходи з підвищення надійності, ефективності та безпеки при проектуванні та експлуатації обладнання та об'єктів електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. ФК08. Здатність досліджувати та визначити проблему і ідентифікувати обмеження, включаючи ті, що пов'язані з проблемами охорони природи, сталого розвитку, здоров'я і безпеки та оцінками ризиків в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці ФК11. Здатність оцінювати показники надійності та ефективності функціонування електроенергетичних, електротехнічних та електро-механічних об'єктів та систем. ФК12. Здатність розробляти плани і проекти для забезпечення досягнення поставленої певної мети з урахуванням всіх аспектів проблеми, що вирішується, включаючи виробництво, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію обладнання електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних комплексів. ФК15. Здатність публікувати результати своїх досліджень у наукових фахових виданнях. ФК20. Здатність вибирати оптимальні рішення при створенні об'єктів відновлюваної енергетики з урахуванням вимог якості, надійності й вартості, а також термінів виконання, безпеки життєдіяльності та екологічної чистоти виробництва; готувати заявки на винаходи й промислові зразки, організовувати роботи зі здійснення авторського нагляду при виготовленні, монтажі, налагодженні, випробуваннях і здачі в експлуатацію об'єктів, обладнання і пристроїв відновлюваної енергетики, готувати відгуки й висновки на проекти стандартів, раціоналізаторські пропозиції та винаходи, проводити маркетингові дослідження та готувати бізнес-плани спорудження перспективних і конкурентоспроможних об'єктів та виготовлення обладнання і пристроїв відновлюваної енергетики.

(ПРН) ПРН01. Знаходити варіанти підвищення енергоефективності та надійності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання й відповідних комплексів і систем. ПРН04. Окреслювати план заходів з підвищення надійності, безпеки експлуатації та продовження ресурсу електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання і відповідних комплексів і систем. ПРН05. Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах. ПРН09. Здійснювати пошук джерел ресурсної підтримки для додаткового навчання, наукової та інноваційної діяльності. ПРН10. Враховувати передові технології експлуатації об'єктів відновлюваної енергетики на основі накопиченого світового досвіду з врахуванням технічного стану обладнання, перспективних методів акумулювання енергії відновлюваних джерел, економічних вимог, вимог якості, надійності й вартості, безпеки життєдіяльності та екологічної чистоти виробництва. ПРН11. Обґрунтовувати вибір напрямку та методики наукового дослідження з урахуванням сучасних проблем в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. ПРН14. Дотримуватися принципів та напрямів стратегії розвитку енергетичної безпеки України. ПРН22. Забезпечувати безперебійну експлуатацію об'єктів відновлюваної енергетики, їх поточне обслуговування, ремонт і модернізацію, систем акумулювання енергії відновлюваних джерел, розраховувати режими роботи об'єктів відновлюваної енергетики в автономному стані і у випадку підключення до центральної мережі.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти: теоретичною базою з технічної термодинаміки, основ конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії, та основ акумулювання.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Дисципліну структурно розподілено на **3 розділи**, а саме:

- 1. Основи водневої енергетики**, до якого ввійшли термінологічні питання водневої енергетики, основні традиційні та перспективні методи отримання, зберігання та транспортування водню. Промислові, лабораторні та електрохімічні методи отримання водню. Хімічні та фізичні методи очищення водню.

2. **Паливно-комірчані технології**, до якого ввійшли питання класифікації основних типів паливних елементів (ПЕ). Низько-, середньо- та високотемпературні паливні елементи.
3. **Використання водневих та паливно-комірчаних технологій** при проектуванні систем зберігання та перетворення енергії, включаючи зберігання водню для використання в стаціонарних, мобільних і переносних системах, електрохімічних сховищах.

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Основні інформаційні ресурси:

1. Байрачний Б. І. Технічна електрохімія: підручник для вищ. навч. закл. за напр. підготовки: «Технічна електрохімія» Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут».- Харків.: Прапор, 2003.
2. Горбачов А. К. Технічна електрохімія: підручник для вищ. навч. закл. за напр. підготовки: «Технічна електрохімія». Під ред. Б. І. Байрачного. – Харків.: Прапор, 2002.
3. М.Д. Кошель Теоретичні основи електрохімічної енергетики, 2002. – Дніпропетровськ.: УДХТУ, 430 с.
4. Zohuri, B. (2019). *Hydrogen Energy. Challenges and Solutions for a Cleaner Future*. Springer, Cham. 283 p.
5. *Відновлювані джерела енергії / За ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.*

##### Додаткові:

1. Ramesh K. SHAH, Umberto DESIDERI, Kan-Lin HSUEH and Anil V. VIKAR RESEARCH OPPORTUNITIES AND CHALLENGES IN FUEL CELL SCIENCE AND ENGINEERING 4 th Baltic Heat Transfer Conference Kaunas, Lithuania, August 25-27, 2003, pp. 1-23
2. Thynell, S.: Summary of Research Needs for Fuel Cells, Keynote Oral Presentation at the International Workshop on Fuel Cell Technology for Advanced Vehicles, Rochester Institute of Technology, Rochester, New York, April 2002.

### Навчальний контент

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

##### *Лекційні заняття*

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1-2	Вступ до дисципліни «Воднева енергетика». Методи одержання водню та їх класифікація. літературні джерела [3]; дистанційний курс «Воднева енергетика» лекція 1-2 <a href="https://discord.gg/bsuVrYy">https://discord.gg/bsuVrYy</a>
3-4	Промислові, лабораторні та електрохімічні методи одержання водню. Виробництво водню електролізом води. Види та особливості реалізації різних видів електролізу. Особливості вибору електролітів, електродних матеріалів та каталізаторів при проведенні електролізу. літературні джерела [1-3]; дистанційний курс «Воднева енергетика» лекція 3-4 <a href="https://discord.gg/bsuVrYy">https://discord.gg/bsuVrYy</a>
5-6	Класифікація методів зберігання водню. Фізичні та хімічні методи зберігання водню. літературні джерела [3, 5]. дистанційний курс «Воднева енергетика» лекція 5-6 <a href="https://discord.gg/bsuVrYy">https://discord.gg/bsuVrYy</a>
7-9	Елементи електрохімічної термодинаміки для оцінки ефективності електрохімічних систем. Рівняння Гіббса-Гельмгольца, ЕРС та ККД електрохімічної системи. літературні джерела [1-3]. дистанційний курс «Воднева енергетика» лекції 7-9

	<a href="https://discord.gg/bsuVrYy">https://discord.gg/bsuVrYy</a>
10-14	<p>Паливно-комірчані технології. Особливості перебігу електрохімічних процесів. . [1, 3].  дистанційний курс «Воднева енергетика» лекція 10-14  <a href="https://discord.gg/bsuVrYy">https://discord.gg/bsuVrYy</a></p>
15	<p>Типи водневих двигунів та принцип їх роботи. Конструктивні схеми водневих силових установок на транспортних засобах. Заправні водневі станції. “Mother” - “daughter” method.  літературні джерела [1].  дистанційний курс «Воднева енергетика» лекція 15  <a href="https://discord.gg/bsuVrYy">https://discord.gg/bsuVrYy</a></p>
16-18	<p>Використання водневих та паливно-комірчаних технологій при проектуванні систем зберігання та перетворення енергії, включаючи зберігання водню для використання в стаціонарних, мобільних і переносних системах, електрохімічних сховищах.  літературні джерела [4].  дистанційний курс «Воднева енергетика» лекція 16-18  <a href="https://discord.gg/bsuVrYy">https://discord.gg/bsuVrYy</a></p>

## Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1-3	Термодинаміка електрохімічних процесів. Рівняння Нернста. Розв'язання задач. літературні джерела [1-3]. дистанційний курс «Воднева енергетика» підбірка задач за темою 1-3 <a href="https://discord.gg/bsuVrYy">https://discord.gg/bsuVrYy</a>
4-5	Рівняння Гіббса-Гельмгольца, ЕРС електрохімічної системи. Розв'язання задач. літературні джерела [1, 3]. дистанційний курс «Воднева енергетика» підбірка задач за темою 4, 5 <a href="https://discord.gg/bsuVrYy">https://discord.gg/bsuVrYy</a>
6-7	Практична робота з паливною коміркою з електролізером. літературні джерела [1, 3]. дистанційний курс «Воднева енергетика» <a href="https://discord.gg/bsuVrYy">https://discord.gg/bsuVrYy</a>
8	Типові приклади розрахунків систем водневого акумулювання енергії в комплексі з вітроелектричною станцією. Розв'язання задач. літературні джерела [1, 3]. дистанційний курс «Воднева енергетика» підбірка задач за темою 8 <a href="https://discord.gg/bsuVrYy">https://discord.gg/bsuVrYy</a>
9	Типові приклади розрахунків систем водневого акумулювання енергії в комплексі з фотоелектричною станцією. Розв'язання задач. літературні джерела [1, 3]. дистанційний курс «Воднева енергетика» підбірка задач за темою 9 <a href="https://discord.gg/bsuVrYy">https://discord.gg/bsuVrYy</a>

### 6. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	30
2	Розв'язок задач	19
3	Виконання домашньої контрольної роботи	15
4	Підготовка до МКР	2
5	Підготовка до екзамену	30

## Політика та контроль

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

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- правила відвідування занять: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях. Відпрацювання лабораторних робіт з дисципліни є обов'язковою умовою допуску до заліку;
- правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Discord здійснюється за умови вказівки викладача;
- правила захисту індивідуальних завдань: захист домашньої контрольної роботи з дисципліни здійснюється індивідуально;

- правила призначення заохочувальних балів: заохочувальні бали не входять до основної шкали РСО, а їх сума не перевищує 10% стартової шкали.
- політика дедлайнів та перескладань: якщо студент не проходив або не з'явився на МКР, його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання захисту результатів МКР не передбачено;
- політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Перспективні технології у відновлюваній енергетиці»;
- 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.

## 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

**Поточний контроль:** експрес-опитування, МКР, розв'язання задач

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

**Семестровий контроль:** екзамен

**Умови допуску до семестрового контролю:** мінімально позитивна оцінка за розрахунково-графічну роботу, зарахування усіх лабораторних робіт, семестровий рейтинг більше 35 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
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:

- розв'язання задач на практичних заняттях;
- виконання індивідуальної роботи (ДКР);
- виконання двох контрольних робіт у рамках модульної контрольної роботи (МКР).

ПЗ	РГР	МКР	Rc	Рекз	R
10	20	30	60	40	100

### Розв'язання задач на практичних заняттях

Ваговий бал – 2,5.

Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях – 10

Критерії оцінювання

- самостійне розв'язання задачі, вільне володіння темою заняття – 2,5;
- розв'язання задачі за допомогою викладача, володіння окремими розділами теми заняття – 1;

### Індивідуальне семестрове завдання (ДКР)

Згідно з робочою навчальною програмою кожен студент виконує домашню контрольну роботу. Максимальна кількість балів за виконання РГР – 20.

#### Критерії оцінювання

- повне, точне і вчасне виконання – 20 балів;
- розрахунок неточний є окремі несуттєві помилки – 10...15 балів;
- розрахунок неповний, є окремі суттєві помилки – 7...10 балів;
- розрахунок неправильний – 0 балів;

на виконання ДКР відводять 8 тижнів з моменту видачі завдання.

#### - **Модульна контрольна робота**

Завдання кожної контрольної роботи складається з трьох питань.

Ваговий бал кожної частини МКР – 5.

Максимальний бал за дві МКР –  $(5 * 3) * 2 = 30$ .

#### Критерії оцінювання

- правильна відповідь на 3 питання – 15 балів;
- часткова відповідь на питання, наявність незначних помилок – 8-14 балів;
- відсутність відповіді – 0 балів.

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

#### **Форма семестрового контролю – екзамен**

Умовою допуску до екзамену є зарахування всіх лабораторних робіт, двох модульних контрольних робіт та РГР і семестровий рейтинг не менше 35 балів.

Екзаменаційна робота складається з двох теоретичних запитань та задачі

#### Критерії оцінювання екзамену

Рейтинг  $R_c$  в межах  $(0,3 - 0,59) * R$ , тобто 30 – 59 балів – студенти складають екзамен.

Максимальний рейтинг екзамену  $R_z = 40$  балів.

Критерії оцінювання кожного з двох теоретичних екзаменаційних питань.

Рейтинг екзамену  $R_z = 15$  балів – студент дав вичерпні відповіді на питання, дає чіткі визначення всіх понять і величин, відповіді логічні і послідовні.

Рейтинг екзамену  $R_z = 12 - 14$  балів – студент дав вичерпні відповіді на питання, дає чіткі визначення всіх понять і величин, відповіді логічні і послідовні, але містять незначні неточності.

Рейтинг екзамену  $R_z = 10 - 12$  балів – відповідаючи на питання, студент припускається окремих помилок, знає визначення основних понять і величин дисципліни, в цілому розуміє фізичну суть процесів.

Рейтинг екзамену  $R_z = 8 - 9$  балів – студент частково відповідає на екзаменаційне питання, показує знання, але недостатньо розуміє суть процесів. Відповіді непослідовні і нечіткі..

Рейтинг екзамену  $R_z \leq 7$  балів – у відповіді студент припускається суттєвих помилок, проявляє нерозуміння фізичної суті термодинамічних процесів, не може виправити помилки за допомогою викладача. Відповіді некоректні, а в деяких випадках не відповідають суті поставленого питання.

Критерії нарахування балів за практичне розрахункове завдання (задачу):

0 – задача не вирішувалася, або були використані формули з грубими помилками, або як такі, що не мають відношення щодо суті задачі;

1-3 – задача вирішувалася, але в підсумку відповіді не має і в розв'язку наведені тільки загальні формули та міркування або допущені грубі помилки у використанні формул;

4-5 – задача вирішувалася, вказана вірна відповідь, але приведені тільки самі загальні формули та міркування;

6-7 – задача вирішена в загальному вигляді, вказана вірна відповідь, проте містить грубі помилки у розрахунках;

8-9 – задача вирішена в основному правильно, але без відповідних пояснень, або допущена незначна помилка (неточність);

10 – задача вирішена правильно з відповідними поясненнями.

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

### *Перелік тем, які виносяться на семестровий контроль*

1. Сучасний стан розвитку водневої енергетики.
2. Традиційні методи отримання водню.
3. Отримання водню із застосування нетрадиційних джерел енергії.
4. Методи зберігання та транспортування водню.
5. Методи перетворення водню в теплову та електричну енергію.
6. Виробництво водню електролізом води. Загальні відомості. Вибір електроліту та конструкційних матеріалів.
7. Катодний та анодний процеси електролізу. Електроліт, електроди, діафрагма. Показники процесу електролізу.
8. Конструкції сучасних електролізерів. Електроліз води під тиском.
9. Електроліз води з твердо полімерним електролітом.
10. Високотемпературний електроліз.
11. Паливні елементи (електрохімічні генератори енергії (ЕХГЕ). Загальна характеристика та класифікація.
12. Твердооксидний паливний елемент.
13. Розплавно-карбонатні паливні елементи
14. Фосфорно-кислотні паливні елементи
15. Лужні паливні елементи
16. Біологічні паливні елементи.
17. Особливості будови протон-обмінних (PEM) та твердо-окисних (SOFC) паливних елементів.
18. Принципові схеми автономного електропостачання. Комбіноване застосування хімічних джерел енергії та відновлюваних джерел енергії.
19. Поняття водневого акумулювання енергії та особливості його використання в комплексі з відновлюваними джерелами енергії.
20. Вітро-воднева станція акумулювання енергії. Принцип її роботи та особливості експлуатації.
21. Комплексна система водневого акумулювання енергії з використанням сонячних фотоперетворювачів.
22. Переваги та недоліки водневого акумулювання енергії
23. Комплексна система водневого акумулювання енергії з використанням теплових насосів.
24. Паливні елементи з прямим окисненням метанолу.
25. Принципи роботи та типи водневих двигунів.

***Сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою можуть бути зараховані за умови виконання вимог, наведених у НАКАЗІ № 7-177 від 01.10.2020 ПРО ЗАТВЕРДЖЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ВИЗНАННЯ В КПІ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ, НАБУТИХ У НЕФОРМАЛЬНІЙ/ІНФОРМАЛЬНІЙ ОСВІТІ***

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

**Складено** доцентом кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА, к.т.н. Вишневською Ю.П.

**Ухвалено** кафедрою відновлюваних джерел енергії ФЕА (протокол № 14 від 24.05.2024 р.)

**Погоджено** Методичною комісією факультету<sup>1</sup> (протокол №10 від 20.06.2024)

---

<sup>1</sup>Методичною радою університету– для загальноуніверситетських дисциплін.