

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА



МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до самостійного вивчення
навчальної дисципліни

«ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності*

*141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
освітня програма «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Методичні рекомендації до самостійного вивчення навчальної дисципліни «Воднева енергетика» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Я. Б. Форкун. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 20 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. Я. Б. Форкун

Рецензент

О. Б. Єгоров, кандидат технічних наук, доцент кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою альтернативної електроенергетики та електротехніки, протокол № 11 від 8 травня 2024 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ, ЇЇ МІСЦЕ В СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНІЙ СХЕМІ ПІДГОТОВКИ БАКАЛАВРА.....	6
2 МОДУЛЬ «ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА».....	8
Змістовий модуль 1 Властивості водню і способи його отримання..	9
Контрольні запитання.....	9
Змістовий модуль 2 Процеси зберігання, транспортування і споживання водню.....	11
Контрольні запитання.....	12
Змістовий модуль 3 Паливні елементи.....	13
Контрольні запитання.....	13
3 ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ МОДУЛЯ «ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА».....	14
4 ШКАЛА ОЦІНЮВАННЯ ТА МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ.....	16
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	19

ВСТУП

Вдосконалення якості підготовки здобувачів вищої освіти безпосередньо пов'язане з підвищенням зацікавленості студентів у самостійній роботі протягом навчання. Необхідно відзначити, що роль самостійної роботи студентів, обсяг якої складає орієнтовно 60 % від загального обсягу необхідних для вивчення дисципліни годин, суттєво зросла у зв'язку із долученням України до Болонського процесу й переходом на кредитно-модульну систему освіти. Крім того, під час використання дистанційної форми навчання ще більше зростає необхідність постійного аналізу організації самостійної роботи здобувачів вищої освіти, її форм та методів, ефективності реалізації.

Дисципліна «Воднева енергетика» є однією зі складових у загальному комплексі формування знань та навичок для студентів усіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка освітньої програми «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії» (далі – НВДЕ) з точки зору розуміння існуючих підходів інтеграції альтернативної енергетики до повсякдення людини. Студенти освітньої програми НВДЕ вивчають дисципліну «Воднева енергетика», яка за новою освітньо-професійною програмою 2024 року належить до вибіркового блоку циклу професійної підготовки, протягом одного семестру (один модуль). Навчальними планами не передбачено виконання розрахунково-графічної або курсової роботи, але на практичних заняттях студенти ознайомлюються з особливостями отримання, формування та розрахунку устаткування, призначеного для виділення такого важливого, енергетично цінного палива, як водень.

Ці методичні рекомендації підготовлені на основі робочої програми з дисципліни «Воднева енергетика» для зазначеної освітньої програми і дозволяють ще більшою мірою інтенсифікувати навчальний процес, враховуючи сучасні тенденції становлення й розвитку вищої освіти, для якої властиве перенесення центру уваги в навчанні на самостійно-освітню роботу студентів.

Розподіл обсягу навчальної роботи для студентів денної форми навчання наведено у таблиці 1, але необхідно зазначити, що в майбутньому можливі деякі зміни вказаних у таблицях цифр, про що викладач повідомляє студентам у робочому порядку.

Таблиця 1 – Розподіл обсягу навчальної роботи студента

Освітні програми	Всього кредитів / годин	Семестри	Години				
			Аудиторні	Лекції	Практичні заняття	Лабораторні роботи	Самостійна робота
Денна форма навчання							
НВДЕ	4 / 120	8 (6)	48	24	24	–	72

1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ, ЇЇ МІСЦЕ В СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНІЙ СХЕМІ ПІДГОТОВКИ БАКАЛАВРА

Метою викладання навчальної дисципліни «Воднева енергетика» є вивчення існуючих підходів та можливих технічних рішень щодо отримання, зберігання, транспортування і використання водню як енергетичного ресурсу для подальшої генерації енергії високої якості (теплової та електричної), використання енергоносія в системах тепло-, холодо- та електропостачання об'єктів різного призначення, ознайомлення з принципом побудови й роботи водневогенеруючих установок; засвоєння фундаментальних відомостей, що є необхідною базою для подальшого вивчення різних дисциплін теплоенергетичного напрямку, та застосування цих знань при виконанні виробничих завдань.

Вивчення цієї дисципліни базується на таких дисциплінах: «Загальна фізика», «Вища математика», «Термодинаміка та тепломасообмін в установках альтернативної енергетики».

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

– *знати і розуміти* фізичні аспекти використання вихідної сировини для отримання енергоносія високої якості, водню, з традиційних і відновлювальних ресурсів, фізичні основи виділення, зберігання й транспортування водню; способи його спалювання для отримання теплової та електричної енергії, принцип побудови технологічних схем установок та їх основні характеристики; конструкцію, принцип дії та особливості експлуатації установок отримання, зберігання, транспортування та спалювання водню і мати навички використовувати знань для розв'язання практичних задач у професійній діяльності;

– *вміти* проводити вибір та розрахунок з оцінювання потенціалу енергозбереження й економічний ефект на об'єкті дослідження після застосування та впровадження водневогенеруючих установок;

- *знати* основні закони та підходи до вибору необхідного обладнання для водневодгенеруючих установок при використанні різних вихідних ресурсів;
- *вміти* проводити чисельні розрахунки технологічних схем отримання водню та обирати відповідне раціональне обладнання;
- *вміти* розраховувати режими роботи систем зберігання і транспорту водню, визначати склад обладнання та його параметри;
- *розуміти* принципів роботи пристроїв для спалювання водню;
- *мати* практичні знання з формування технологічних схем в залежності від обраного способу енергетичного використання водню;
- *отримати певні компетентності*, а саме: здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та теплотехніки, здатність вирішувати комплексні спеціалізовані завдання й практичні проблеми, пов'язані з роботою енергетичних систем і мереж, теплової частини генеруючих підприємств.

Як було зазначено вище, дисципліна «Воднева енергетика» за новою освітньо-професійною програмою 2024 року належить до вибіркового блоку циклу професійної підготовки освітньої програми «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії» і викладається у восьмому або шостому (для студентів прискореної форми навчання) семестрах.

Обсяг дисципліни «Воднева енергетика», яка складається з одного модуля, становить 4 кредити ЄКТС (120 годин).

2 МОДУЛЬ «ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА»

Модуль містить три змістові модулі (далі – ЗМ):

- ЗМ 1 Властивості водню і способи його отримання;
- ЗМ 2 Процеси зберігання, транспорту і споживання водню;
- ЗМ 3 Паливні елементи.

Кожний змістовий модуль містить декілька тем. Нумерація тем в межах модуля наскрізна, як і в робочій програмі дисципліни.

Упродовж вивчення модуля передбачаються лекції (2 години на тиждень); 2 години на тиждень практичних занять (далі – ПЗ); самостійна робота (72 години на семестр, що містить 12 тижнів). Форма підсумкового контролю – диференційований залік.

Таблиця 2 – Структура модуля і розподіл часу

Змістові модулі	Кількість годин				
	усього	лекції	практичні заняття	лабораторні заняття	самостійна робота
МОДУЛЬ 1 (семестр 3 (1))	120	24	24	–	72
Змістовий модуль 1	40	8	8	–	24
Змістовий модуль 2	40	8	8	–	24
Змістовий модуль 3	40	8	8	–	24

Змістовий модуль 1 Властивості водню і способи його отримання

У ЗМ 1 передбачено вивчення трьох тем.

Тема 1 Воднева енергетика та її перспективи розглядає такі питання (3 години лекцій):

- поняття водню та водневої енергетики;
- екологічні та енергетичні перспективи використання водню як енергоносія порівняно з іншими енергоносіями;
- вихідна сировина для отримання водню.

Тема 2 Різновиди технологій отримання водню розглядає такі питання (3 години лекцій):

- способи отримання водню;
- вплив на вихідну сировину з метою виділення водню;
- розкриття та опис технологій отримання водню, а саме: парова конверсія метану та природного газу, газифікація вугілля, електроліз води, піроліз, часткове окиснення, біотехнології;
- порівняльний аналіз переваг та недоліків технологій отримання водню.

Тема 3 Агрегатні стани водню розглядає такі питання (2 години лекцій):

- агрегатні стани водню;
- фізико-хімічні властивості водню у газоподібному та рідкому стані;
- способи транспортування і зберігання водню та їх перспективність.

Після вивчення матеріалу ЗМ 1 студент повинен відповідати на наведені нижче контрольні запитання.

Контрольні запитання

1. Поясніть поняття «енергетика», перелічіть стадії виробництва енергії.
2. Поясніть поняття «електроенергетика», наведіть її класифікацію та характеристики.
3. Надайте класифікацію органічного палива.
4. Що таке паливно-енергетичні ресурси? Як вони поділяються?

5. Як поділяються природні джерела енергії?
6. Охарактеризуйте екологічні аспекти виробництва теплової та електричної енергії.
7. Поясніть поняття «водень» та перелічіть його відмінності щодо інших хімічних елементів. Якими є перспективи використання водню як джерела енергії?
8. Надайте класифікацію способів отримання водню.
9. Опишіть переваги та недоліки водню як енергоносія.
10. Що таке парова конверсія метану та природного газу?
11. Що таке загальне газифікації вугілля?
12. Перелічіть основні технології газифікації вугілля? Надайте їх порівняльну характеристику.
13. У чому полягає підземна газифікація вугілля?
14. Що таке конверсія метану?
15. Що таке парціальне окислення вуглеводнів?
16. Надайте поняття та характеристику синтез-газу.
17. Надайте поняття та характеристику водяного газу.
18. Надайте поняття та характеристику генераторного газу.
19. Надайте поняття та характеристику коксового газу.
20. Надайте поняття та характеристику змішаного газу.
21. Що таке електроліз води? Надайте характеристику цього процесу.
22. Надайте характеристику низькотемпературного електролізу води.
23. Надайте характеристику високотемпературного електролізу води.
24. Надайте характеристику термохімічного розкладу води.
25. Надайте порівняльну характеристику циклів сульфату Вісмута та Вестінгауза.

Змістовий модуль 2 Процеси зберігання, транспортування і споживання водню

У ЗМ 2 передбачено вивчення трьох тем.

Тема 4 Зберігання водню розглядає такі питання (3 години лекцій):

- будова існуючої інфраструктури, перспективність її розвитку;
- створення нової, ефективно діючої системи акумуляції та зберігання

водню.

Тема 5 Транспортування водню розглядає такі питання (2 години лекцій):

- будова існуючої інфраструктури, перспективність її розвитку;
- створення нової, ефективно діючої системи транспортування водню.

Тема 6 Використання водню розглядає такі питання (3 години лекцій):

- водень як сировина для промислових технологічних процесів та отримання теплової й електричної енергії;
- особливості побудови систем спалювання водню та організації пожежної безпеки.

Після вивчення матеріалу ЗМ 2 студент повинен відповідати на наведені нижче контрольні запитання.

Контрольні запитання

1. Надайте загальне поняття піролізу.
2. Надайте порівняльну характеристику процесів горіння та піролізу.
3. Охарактеризуйте принцип побудови устаткування та стадій перебігу процесу піролізу.
4. Охарактеризуйте основні стадії термічного розпаду (піролізу) деревини.
5. Надайте класифікацію піролізу.
6. Що використовують як вихідну сировину для перебігу процесу піролізу.
7. Перелічіть переваги піролізного устаткування.
8. Що таке часткове окислення?
9. Надайте поняття біоводню та охарактеризуйте способи його отримання.
10. Порівняйте різні методи отримання водню.
11. Надайте опис біометаногенезу.
12. Надайте опис поколінь біопалива.
13. Надайте опис прямого фотолізу води.
14. Надайте опис непрямого фотолізу води.
15. Охарактеризуйте правила поведінки з воднем.
16. Які існують проблеми безпечної роботи з воднем?
17. Які існують заходи безпеки при роботі з рідким воднем?
18. Охарактеризуйте правила транспортування водню.
19. Охарактеризуйте правила зберігання водню.

Змістовий модуль 3 Паливні елементи

У ЗМ 3 передбачено вивчення трьох тем.

Тема 7 Класифікація паливних елементів розглядає такі питання (3 години лекцій):

- потенційні галузі використання паливних елементів;
- градація паливних елементів за різними типами критеріїв;
- економічні перспективи впровадження паливних елементів у різних галузях господарства країни.

Тема 8 Особливості будови паливних елементів розглядає такі питання (3 години лекцій):

- розкриття особливостей побудови паливних елементів;
- джерела первинної енергії для ефективної роботи паливних елементів;
- організація безпечної експлуатації.

Тема 9 Наближений розрахунок електрорушійної сили (далі – ЕРС) і ефективності роботи паливного елемента розглядає такі питання (2 години лекцій):

- розкриття принципу побудови залежностей для проведення розрахункових досліджень із визначенням електрорушійної сили у паливному елементі;
- оцінка ефективності роботи паливного елемента.

Після вивчення матеріалу ЗМ 3 студент повинен відповідати на наведені нижче контрольні запитання.

Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте переваги та недоліки паливних елементів.
2. Що таке «паливний елемент» та в чому полягає принцип його роботи?
3. Надайте класифікацію паливних елементів.
4. Охарактеризуйте наближений розрахунок ЕРС паливного елемента.
5. Охарактеризуйте наближений розрахунок ККД паливного елемента.
6. Що таке лужний паливний елемент?
7. Охарактеризуйте паливний елемент на протоннообмінній мембрані.
8. Охарактеризуйте паливні елементи на фосфорній кислоті, розплаві карбонату та на твердих оксидах.

3 ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ МОДУЛЯ «ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА»

Навчальним планом під час вивчення дисципліни передбачені практичні заняття. У таблиці 3 наведено теми практичних занять і кількість аудиторних годин, що заплановані на них.

Таблиця 3 – Теми практичних занять

Тема	Зміст (план)	Кількість ауд. годин
1	2	3
Змістовий модуль 1 Властивості водню і способи його отримання		
Тема 1 Воднева енергетика та її перспективи	Розкриття теоретичних аспектів доцільності розвитку такого напрямку, як воднева енергетика з екологічної та енергетичної точки зору. Опис фізико-хімічних характеристик водню	3
Тема 2 Різновиди технологій отримання водню	Визначення можливих джерел отримання водню. Опис та порівняльний аналіз технологічних способів отримання водню	3
Тема 3 Агрегатні стани водню	Визначення перспективності використання газоподібного та рідкого водню. Енергетичні витрати на отримання водню у різних агрегатних станах	2
Змістовий модуль 2 Процеси зберігання, транспортування і споживання водню		
Тема 4 Зберігання водню	Визначення існуючих підходів щодо зберігання водню. Аналіз технічних характеристик об'єктів зберігання водню. Формування можливих шляхів розвитку цього напрямку	3

Продовження таблиці 3

1	2	3
Тема 5 Транспортування водню	Визначення існуючих технічних рішень та підходів щодо транспортування водню. Аналіз технічних характеристик об'єктів транспортування водню. Формування можливих шляхів розвитку цього напрямку	2
Тема 6 Використання водню	Визначення існуючих технічних рішень щодо використання водню в енергогенеруючих та промислових цілях. Аналіз технічних рішень, що використовуються для генерації електричної енергії з використанням водню. Формування можливих шляхів розвитку цього напрямку	3
Змістовий модуль 3 Паливні елементи		
Тема 7 Класифікація паливних елементів	Проведення аналізу критеріїв, за якими виконується класифікація паливних елементів	3
Тема 8 Особливості будови паливних елементів	Побудова термодинамічної системи паливного елемента з метою подальшого визначення теплових та енергетичних характеристик	2
Тема 9 Наближений розрахунок електрорушійної сили і ефективності роботи паливного елемента	Проведення розрахункових досліджень та аналізу отриманих результатів з визначення електрорушійної сили і ефективності роботи паливного елемента. Визначення економічної доцільності реалізації паливного елемента в енергетичних цілях залежно від способу отримання водню	3

4 ШКАЛА ОЦІНЮВАННЯ ТА МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ

При проведенні контролю якості отриманих знань в межах кожного модуля передбачено:

- усне та письмове опитування під час проведення практичних занять на основі контрольних запитань;
- тестування за матеріалом кожного змістового модулю;
- виконання письмових індивідуальних завдань (далі – ІЗ) за матеріалом кожного змістового модуля;
- підсумковий контроль у вигляді диференційованого заліку, що проводиться у письмовій формі та забезпечений комплектами екзаменаційних білетів (30 од.).

У таблиці 4 наведена структура навчальної дисципліни і розподіл балів.

Таблиця 4 – Структура навчальної дисципліни і розподіл балів

Змістові модулі	Максимальна кількість балів				
	усього	практ.	лаб.	сам. роб.	
				завдання	модульний контроль
МОДУЛЬ 1 (семестр 1 (3))	100				
Змістовий модуль 1	20	8	–	5	7
Змістовий модуль 2	25	10	–	7	8
Змістовий модуль 3	25	10	–	7	8
Підсумковий контроль	30	–	–	–	–

У таблиці 5 наведені види завдань, засоби контролю і максимальна кількість балів за них.

Таблиця 5 – Види завдань, засоби контролю і максимальна кількість балів

Види завдань та засоби контролю	Розподіл балів
1	2
Модуль Воднева енергетика	
Змістовий модуль 1	20
Практичне завдання № 1, 2 Поняття і визначення водневої енергетики. Усне опитування	4
Практичне завдання № 3, 4 Джерела та способи отримання водню. Вихідна сировина для отримання водню. Усне опитування	4
Завдання до самостійної роботи ЗМ1 Оформлення звітів за темами ПЗ	5
Модульний контроль за ЗМ1 Виконання письмового ІЗ. Тестування	7
Змістовий модуль 2	25
Практичне завдання № 5, 6 Технічні рішення щодо зберігання водню. Письмове опитування	4
Практичне завдання № 7 Технічні рішення щодо транспортування водню. Усне опитування	2
Практичне завдання № 8 Технічні рішення щодо використання водню у якості енергоносія. Усне опитування	4
Завдання до самостійної роботи ЗМ2 Оформлення звітів за темами ПЗ	7
Модульний контроль за ЗМ2 Виконання письмового ІЗ. Тестування	8
Змістовий модуль 3	25
Практичне завдання № 9, 10 Розкриття принципу класифікації паливних елементів. Усне опитування	4
Практичне завдання № 11, 12 Побудова термодинамічної системи та визначення теплових й енергетичних характеристик паливного елемента. Письмове опитування	4

Продовження таблиці 5

1	2
Практичне завдання № 8 Визначення економічної доцільності реалізації паливного елемента в енергетичних цілях залежно від способу отримання водню	2
Завдання до самостійної роботи ЗМЗ Оформлення звітів за темами ПЗ	7
Модульний контроль за ЗМЗ Виконання письмового ІЗ. Тестування	8
Підсумковий контроль – диференційований залік	30
Теоретичне питання 1	10
Теоретичне питання 2	10
Теоретичне питання 3	10
ВСЬОГО ЗА МОДУЛЕМ	100

У таблиці 6 наведена шкала оцінювання знань студентів за національною шкалою та відповідно до системи ЄКТС.

Таблиця 6 – Шкала оцінювання знань студентів

100-бальна шкала	Рівень компетентності	Чотирибальна шкала
		диференційований залік
90–100	високий	відмінно
82–89	достатній	добре
74–81		
64–63	середній	задовільно
60–63		
35–59	низький	незадовільно

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Козин Л. Ф. Водородная энергетика и экология / Л. Ф. Козин, С. В. Волков. – Київ : Наукова думка, 2002. – 336 с.
2. Козин Л. Ф. Современная энергетика и экология: проблемы и перспективы / Л. Ф. Козин, С. В. Волков. – Київ : Наукова думка, 2006. – 775 с.
3. Фундаментальні аспекти відновлювано-водневої енергетики і паливно-комірчаних технологій / За загальною редакцією Ю. М. Солоніна. – Київ : «КІМ», 2018. – 260 с.
4. Відновлювальна енергетика [Електрон. ресурс] : сайт. – Електрон. дані. – Оновлюється постійно. – Режим доступу: <http://www.renewable.com.ua/>, вільний (дата звернення: 21.05.2024). – Назва з екрана.
5. Водень [Електрон. ресурс] : сайт. – Електрон. дані. – Оновлюється постійно. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Водень>, вільний (дата звернення: 21.05.2024). – Назва з екрана.
6. Паливні елементи [Електрон. ресурс] : сайт. – Електрон. текст. дані. – Оновлюється постійно. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Паливний_елемент, вільний (дата звернення: 21.05.2024). – Назва з екрана.
7. Проєкт Дорожньої карти для виробництва та використання водню в Україні (С. Дубко, О. Дзюбінський, Б. Мілічевич, Х. Тулсідас). – Березень 2021 р. – 99 с.). – [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://unece.org/sites/default/files/2021-03/Hydrogen%20Roadmap%20Draft%20Report_UKR%20March%202021.pdf вільний (дата звернення: 21.05.2024). – Назва з екрана.

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до самостійного вивчення
навчальної дисципліни

«ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
освітня програма «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії»)*

Укладач **ФОРКУН** Яна Борисівна

Відповідальний за випуск *Я. Б. Форкун*
Редактор *О. А. Норик*
Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2024, поз. 280М

Підп. до друку 10.06.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 1,2.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.