



Особливості знешкодження та утилізації вуглекислого газу

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність	144 Теплоенергетика
Освітня програма	ОПП Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна/денна
Рік підготовки, семестр	4-й курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити; 120 годин (з них 72 аудиторних годин та 48 годин самостійної роботи студентів)
Семестровий контроль	Залік
Розклад занять	Лекційні заняття – один раз на тиждень; практичні заняття – один раз на тиждень, http://rozklad.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доцент Серeda Володимир Володимирович, email: sereda.volodymyr@lil.kpi.ua
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/c/MzY4MDQ2Mzk2NTY3?cjc=2iw4ozy

Програма навчальної дисципліни

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

Уловлювання та зберігання вуглекислого газу (УЗВГ) є однією із ключових технологій в декарбонізації європейської та світової енергетики і промисловості. Оскільки кліматичні норми в глобальному масштабі стають все більш суворими, Україна матиме потребу у УЗВГ-технологіях для вирішення проблем майбутніх викидів від електростанцій на викопному паливі і енергоємних галузей.

Метою дисципліни «Особливості знешкодження та утилізації вуглекислого газу» є формування у студентів загального уявлення про зв'язок між зміною кліматом Землі та уловлюванням вуглецю; вплив низьковуглецевих технологій на глобальну енергетику; важливість поєднання УЗВГ та поновлювальної енергетики; пріоритетні напрямки розвитку низьковуглецевої енергетики. Також студенти навчатимуться складати рекомендації та розробляти практичні заходи щодо реалізації та поширення технологій УЗВГ.

Предметом вивчення дисципліни є вуглецево-нейтральні та вуглецево-негативні технології УЗВГ, які забезпечують довгостроковий захист атмосфери Землі від надлишку CO₂; геологічні сховища для зберігання вуглекислого газу; способи припинення витікання вуглекислого газу із сховищ; законодавча база Європейського Союзу для підтримки розвитку технологій УЗВГ.

Вивчення дисципліни формує такі **компетентності**:

- ЗК 3 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК 4 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ФК 2 Здатність застосовувати і інтегрувати знання і розуміння інших інженерних дисциплін для вирішення професійних проблем.
- ФК 8 Здатність використовувати наукову і технічну літературу та інші джерела інформації у професійній діяльності в теплоенергетичній галузі.
- ФК 14 Здатність розробляти і реалізовувати енергозберігаючі заходи при проектуванні та експлуатації теплоенергетичного обладнання, аналізувати схеми теплоенергетичних і теплотехнологічних установок з урахуванням вимог безпеки і сучасних тенденцій розвитку енергетики в залежності від призначення і типу палива, яке використовується.
- ФК 15 Здатність розробляти оптимальні конструкції та експлуатаційні режими теплообмінного обладнання; оцінювати ефективність і загальну економічність використання різних видів ВЕР, нетрадиційних джерел енергії, об'єктів з теплонасосними системами тепlopостачання.

В результаті вивчення дисципліни студент навчиться:

- ПРН 4 Аналізувати і використовувати сучасні інженерні технології, процеси, системи і обладнання у сфері теплоенергетики.
- ПРН 6 Виявляти, формулювати і вирішувати інженерні завдання у теплоенергетиці; розуміти важливість нетехнічних (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) обмежень.
- ПРН 9 Вміти знаходити необхідну інформацію в технічній літературі, наукових базах даних та інших джерелах інформації, критично оцінювати і аналізувати її.
- ПРН 13 Розуміти ключові аспекти та концепції теплоенергетики, технології виробництва, передачі, розподілу і використання енергії.
- ПРН 16 Розуміти нетехнічні (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) наслідки інженерної практики.
- ПРН 17 Аргументувати і доносити судження, які відбивають інженерні рішення в сфері теплоенергетики та відповідні соціальні, екологічні та етичні проблеми до фахівців і нефаківців.

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

Освоєння матеріалу дисципліни базується на попередньому вивченні теоретичних дисциплін «Хімія», «Фізика», «Екологія», «Технічна термодинаміка» та «Тепломасообмін». Отримані знання використовуються під час роботи над магістерською дисертацією, а також в подальшій професійній діяльності у разі складання рекомендації або розробки практичних заходів щодо реалізації технологій УЗВГ на енергетичних об'єктах України.

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Зміни клімату та уловлювання вуглецю.

Парниковий ефект. Вуглецевий цикл та глобальні викиди вуглецю. Вплив вуглекислого газу на клімат Землі. Кіотський протокол Паризька угода про зміну клімату. Необхідність уловлювання та зберігання вуглекислого газу (УЗВГ). Стратегія нульових викидів 2050.

Тема 2. Вплив низьковуглецевих технологій на глобальну енергетику.

Основні поняття та визначення. Способи використання вуглекислого газу для потреб людства. Переваги технологій УЗВГ. Основні перешкоди на шляху зменшення викидів вуглекислого газу в атмосферу. Електричний та водневий напрямки низьковуглецевої енергетики. Класифікація

енергетичних об'єктів за рівнем викидів вуглекислого газу. Діаграма Санкі (Потік вуглекислого газу у глобальній енергетичній системі. Використання водню – безвуглецевий енергетичний напрям. Порівняння водню та природного газу з точки зору декарбонізації. Електроенергія та її споживання. Ймовірність 100% виробництва електроенергії з поновлювальних джерел енергії. Типи поновлювальних джерел енергії.

Тема 3. Технології уловлювання вуглекислого газу.

Вилучення вуглекислого газу перед спалюванням викопного палива. Вилучення вуглекислого газу після спалювання викопного палива. Спалювання палива та чистого кисню. Новітні технології уловлювання вуглекислого газу. Витрати енергії на уловлювання вуглекислого газу.

Тема 4. Вуглецево-негативні технології.

Насадження та відновлення лісів. Біовугілля. Спалювання біомаси із захопленням та зберіганням вуглецю. Синьовуглецева екосистема. Будівництво з біомаси. Обробка повітряних хмар та океанів лугами. Пряме вилучення із повітря. Підвищення біологічної продуктивності океанів. Підсилення вивітрювання гірських порід. Поглинання вуглецю ґрунтом.

Тема 5. Геологічне зберігання.

Призначення та різновиди геологічних сховищ. Типи та особливості гірських порід. Геологічні пастки. Процеси, що відбуваються із вуглекислим газом після закачування його у сховище. Моніторинг та способи припинення витікання вуглекислого газу. Місткість геологічних сховищ.

Тема 6. Законодавча база, рекомендації та практичні заходи щодо реалізації технологій УЗВГ.

Виклики поширенню технологій УЗВГ. Законодавча база для підтримки розвитку технологій УЗВГ. Практичні заходи та рекомендації щодо реалізації технологій УЗВГ.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базовими матеріалами для вивчення дисципліни є навчальні посібники і монографії:

1. Basic methods gas separation. URL: <https://co2captureproject.com> (дата звернення 10.07.2021).
2. EASAC report on negative emission technologies. URL: <https://easac.eu> (дата звернення 10.07.2021).
3. Developing carbon capture and storage infrastructure. URL: <https://decc.gov.uk> (дата звернення 10.07.2021).
4. Carbon capture and storage. URL: <https://www.hse.gov.uk/carboncapture/index.htm> (дата звернення 10.07.2021).
5. Adams T.A., Hoseinzade L., Madabhushi P.B., Okeke I.J. Comparison of CO₂ Capture Approaches for Fossil-Based Power Generation: Review and Meta-Study. Processes. **2017**, Vol. 5 (44). P. 1-37. <https://doi.org/10.3390/pr5030044>.
6. Cherepovitsyn A., Chvileva T., Fedoseev S. Popularization of Carbon Capture and Storage Technology in Society: Principles and Methods. Int J Environ Res Public Health. **2020**. Vol. 17 (22). P. 8368. <https://doi.org/10.3390/ijerph17228368>.

Допоміжні джерела:

1. Global collective effort. URL: <https://folk.universitetetioslo.no/roberan/t/2C.shtml> (дата звернення 10.07.2021).
2. Energy, technology and policy. URL: <https://webberenergyblog.wordpress.com/> (дата звернення 10.07.2021).
3. Publications, reports and research library on all topics associated with CCS. URL: <https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research> (дата звернення 10.07.2021).
4. English Paris agreement. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf (дата звернення 10.07.2021).

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Опанування навчальної дисципліни базується на попередньому опрацюванні матеріалу кожної лекції, що надсилається викладачем заздалегідь, з подальшим опитуванням і детальним розглядом окремих питань під час проведення лекції або зустрічі при дистанційному режимі навчання. Крім того, в рамках проведення практичних занять, студентам видаються індивідуальні завдання для попереднього їх вирішення і обговорення в рамках часу, передбаченого розкладом практичних занять.

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента передбачена під час попереднього опрацювання матеріалу лекцій, що надсилається викладачем, а також при самостійному вирішенні індивідуальних завдань, що видаються в рамках програми практичних занять.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог до студентів:

- обов'язкова присутність на лекціях і практичних заняттях за розкладом;
- попереднє опрацювання матеріалу лекцій;
- самостійне вирішення індивідуальних завдань;
- доопрацювання завдань з урахуванням результатів перевірки і зроблених зауважень;

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

Види контролю знань студентів з дисципліни:

- відповіді на лекційних заняттях;
- відповіді на практичних заняттях;
- виконання завдань СРС;
- виконання МКР (дві частини);

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

- 1) три відповіді в середньому кожного студента на лекційних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 3 студенти; при середній чисельності групи 15 осіб і тринадцяти лекційних заняттях (26 годин) отримуємо: $3 \cdot 13 / 10 \approx 3$ відповіді);
- 2) три відповіді в середньому кожного студента на практичних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 3 студенти; при середній чисельності групи 10 осіб і дев'яти практичних заняттях (18 годин) отримуємо: $3 \cdot 9 / 10 \approx 3$ відповіді);
- 3) виконання завдань СРС;
- 4) виконання МКР;
- 5) відповідь на екзамені – максимально 40 балів.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на лекційних заняттях

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях: $r_1 = 2 \text{ бали} \times 3 = 6 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

2 бали – повна вірна відповідь на поставлене запитання; 1 бал – відповідь має несуттєві помилки; 0 балів – наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

2. Робота на практичних заняттях

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях: $r_2 = 2 \text{ бали} \times 2 = 4 \text{ бали}$.

Критерії оцінювання:

2 бали – повна вірна відповідь на поставлене запитання; 1 бал – відповідь має несуттєві помилки; 0 балів – наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

3. Виконання завдань СРС

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів студента – 18 (завдання СРС видаються після кожного практичного заняття, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень): $r_3 = 2 \text{ бал} \times 9 = 18 \text{ балів}$. Виконане завдання надається викладачу у вигляді оформлених розрахунків, виконання завдань СРС обов'язкове.

Критерії оцінювання:

2 бали – в повному об'ємі і вчасно надана відповідь; 1 бал – відповідь має несуттєві помилки; 0 балів – не вчасно надана відповідь.

Штрафні бали:

несвоєчасне виконання завдання СРС без поважної причини (хвороба) – мінус 1 бал за кожне невиконане завдання.

Заохочувальні бали:

участь у наукових та/або науково-практичних конференціях, семінарах, симпозіумах – 5 балів.

4. Модульна контрольна робота (МКР)

Проводиться дві частини МКР. Кожна частина МКР складається із восьми тестових завдань. Ваговий бал кожної частини – 16. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює $r_4 = 16 \times 2 = 32 \text{ бали}$.

Критерії оцінювання:

16 балів – повна вірна відповідь на всі тестові завдання; 16...1 бали – наявність неповних та/або невірних відповідей на тестові завдання; 0 балів – відсутність відповіді, МКР не зараховано.

6. Відповіді на екзамені

Екзамен проводиться у письмово-усній формі і складається із двох частин. Теоретична частина включає комп'ютерне тестування за змістом навчальної дисципліни (завдання – 30 тестів закритої форми з однією правильною відповіддю з 5-и запропонованих) і оцінюється у 30 балів. Практична частина містить одну задачу, розв'язок якої оцінюється у 10 балів. Тобто, максимальна кількість балів за екзамен $30+10 = 40 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання комп'ютерного тестування:

1 бал – повна вірна відповідь на одне тестове завдання; 0 балів – відповідь невірна або відсутня.

Критерії оцінювання розв'язку практичного завдання:

правильне раціональне рішення (не менше 90% потрібної інформації) – 9...10 балів;
правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 7...8 балів;
рішення з помилками (не менше 50% потрібної інформації та деякі помилки) – 5...6 балів;
відсутність рішення (менше 50% потрібної інформації та помилки) – менше 5 балів.

Штрафні бали:

додаткове питання з тем лекційного курсу отримують студенти, які не брали участі у роботі певного заняття. Незадовільна відповідь з додаткового питання знижує загальну оцінку на 3 бали.

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_d):

Сума вагових балів контрольних заходів в семестрі (стартовий рейтинг) складає:

$$R_i = r_1 + r_2 + r_3 + r_4.$$

де r_i — рейтингові або вагові бали за кожний вид робіт з дисципліни.

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_c = 6+4+18+32 = 60 \text{ балів}$.

Необхідною умовою допуску до екзамену є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС, захист ДКР та стартовий рейтинг не менше $0,4 \times R_c = 24$ балів.

Студенти, які набрали в семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 24 бали, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до екзамену з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Екзаменаційна складова шкали дорівнює: $R_E = 40$ балів.

Таким чином, максимальна кількість балів за рейтинговою шкалою з дисципліни складає

$$R_D = R_c + R_E = 60 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

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

За рішенням кафедри, згідно Тимчасового регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі (Наказ № 7/86 від 08.05 2020 року), допускається застосувати підхід щодо виставлення оцінки з кредитного модуля «автоматом» шляхом пропорційного перерахунку стартових балів у підсумкові за 100–бальною шкалою. При цьому обов'язковим залишається виконання студентом умов допуску до екзамену. Студентам, які набрали фактичний стартовий рейтинг не менший, ніж 0,9 від максимально можливого (тобто $R_c \geq 54$), екзаменатор може запропонувати виставити оцінку «Дуже добре». Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

Переведення стартових балів у підсумкові здійснюється за формулою

$$R = 60 + \frac{40 \cdot (R_i - R_D)}{(R_c - R_D)},$$

де R – оцінка за 100–бальною шкалою;

R_i – сума балів, набраних студентом продовж семестру;

R_c – максимальна сума вагових балів контрольних заходів продовж семестру;

R_D – бал допуску до екзамену.

Студенти, які хочуть підвищити оцінку з кредитного модуля, виконують екзаменаційну роботу. При цьому переведення стартових балів у підсумкові не здійснюється.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент кафедри, к.т.н., доц. Середа Володимир Володимирович

Ухвалено кафедрою ТПТ (протокол № 16 від 24.06.2021 р.)

Погоджено Методичною комісією ТЕФ (протокол № 11 від 24.06.2021 р.)