

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Навчально-науковий інститут будівництва і архітектури
Кафедра теплогазопостачання,
вентиляції та санітарної техніки

03-02-439М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лекційних і практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Виробництво і використання біогазу та біометану» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Теплогазопостачання і вентиляція» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» усіх форм навчання



РЕКОМЕНДОВАНО
науково-методичною радою
з якості ННІБА
Протокол № 8
від 27 червня 2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до лекційних і практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Виробництво і використання біогазу та біометану» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Теплогазопостачання і вентиляція» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» усіх форм навчання. [Електронне видання] / Проценко С. Б. – Рівне : НУВГП, 2024. – 31 с.

Укладач: Проценко С. Б., к.т.н., доцент кафедри теплогазопостачання, вентиляції та санітарної техніки.

Відповідальний за випуск: Кізєєв М. Д., завідувач кафедри теплогазопостачання, вентиляції та санітарної техніки.

Керівник групи забезпечення ОПП «Теплогазопостачання і вентиляція» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» Кізєєв М. Д.

З М І С Т

Передмова	3
Зміст освітнього компонента	4
Завдання до практичних занять та самостійної роботи	9
Глосарій	21
Література	28

© С. Б. Проценко, 2024
© НУВГП, 2024

ПЕРЕДМОВА

Мета викладання освітнього компонента «Виробництво і використання біогазу та біометану» полягає у формуванні у здобувачів вищої освіти теоретичних знань та практичних навичок з виробництва і використання біогазу та біометану. Основним завданням вивчення цієї дисципліни є теоретична і практична підготовка з таких питань: основні положення та вимоги державних норм і стандартів до виробництва і використання біогазу та біометану, види сировини, технологічні процеси, установки для виробництва біогазу та біометану, їхні конструкції, класифікація та технічні характеристики, використання побічних продуктів виробництва.

Освітній компонент розміщений на навчальній платформі Moodle за таким посиланням: <https://exam.nuwm.edu.ua/course/view.php?id=6059>.

Силабус освітнього компонента розміщений у цифровому репозиторії НУВГП за таким посиланням: <https://ep3.nuwm.edu.ua/29733/>.

Викладання освітнього компонента передбачає проведення лекційних і практичних аудиторних занять та самостійну роботу студентів. Під час лекційних занять використовуються мультимедійні презентації та навчальні відеофільми, роздатковий матеріал, приклади реальних проєктів, інформаційні стенди та обладнання спеціалізованих аудиторій кафедри, комп'ютерні класи.

У цих Методичних вказівках наведені структура і зміст освітнього компонента з посиланням на літературні джерела за окремими темами дисципліни, завдання та методичні вказівки до практичних занять і самостійної роботи студентів, перелік рекомендованої навчально-методичної літератури (з адресами розміщення ресурсів у мережі Інтернет).

У Методичних вказівках також наведений глосарій – словник найбільш уживаних термінів та скорочень з питань виробництва і використання біогазу та біометану.

ЗМІСТ ОСВІТНЬОГО КОМПОНЕНТА

ЛЕКЦІЯ № 1

Загальний огляд виробництва і використання біогазу та біометану у світі, в Європі та в Україні

На лекційному занятті слід розглянути такі питання:

1. Розвиток біогазових і біометанових технологій у світі.
2. Поточний стан та перспективи розвитку виробництва і використання біогазу та біометану в Європейському Союзі (ЄС).
3. Європейські плани та зобов'язання в розрізі коротко- (2030) і довгострокових (2050) перспектив.
4. Використання біометану на транспорті в ЄС.
5. Кругообіг поживних речовин з дигестатом у ЄС.
6. Сучасні технології виробництва біометану та його синергія із «зеленим» воднем.
7. Сучасний стан та перспективи розвитку біогазових і біометанових технологій в Україні.

Конспект лекційного матеріалу наведений у [презентації до лекції № 1](#) на навчальній платформі Moodle. Додаткову інформацію можна знайти в літературних джерелах [1, 2, 6, 7, 16, 25, 33, 34, 35].

ЛЕКЦІЯ № 2

Сировинна база виробництва біогазу та біометану

На лекційному занятті слід розглянути такі питання:

1. Класифікація сировини для виробництва біогазу і біометану.
2. Основні джерела сировини для виробництва біогазу і біометану.
3. Види сировини.
4. Склад, основні властивості та характеристики різних типів сировини.
5. Питомий вихід біогазу / метану з різних типів сировини та фактори, що впливають на нього.
6. Сировинні концепції виробництва біогазу.
7. Логістичні концепції сировини для біогазових та біометанових заводів.

Конспект лекційного матеріалу наведений у [презентації до лекції № 2](#) на навчальній платформі Moodle. Додаткову інформацію можна знайти в літературних джерелах [4, 5, 7, 10, 20].

ЛЕКЦІЯ № 3

Споруди та обладнання біогазових установок

На лекційному занятті слід розглянути такі питання:

1. Важливість вибору відповідної технології виробництва біогазу.
2. Класифікація біогазових установок.
3. Ключові компоненти біогазових установок.
4. Системи подачі сировини.
5. Типи ферментерів.
6. Перемішування субстрату в реакторі.
7. Використання насосів у ферментерах.
8. Технологічні режими анаеробного зброджування, приклади технологічних схем біогазових станцій.

Конспект лекційного матеріалу наведений у [презентації до лекції № 3](#) на навчальній платформі Moodle. Додаткову інформацію можна знайти в літературних джерелах [4, 5, 8, 21, 24].

ЛЕКЦІЯ № 4

Технології анаеробного зброджування сировини для виробництва біогазу

На лекційному занятті слід розглянути такі питання:

1. Теоретичні основи процесу метанового бродіння.
2. Основні фактори впливу на різних стадіях процесу метанового бродіння.
3. Кінетика процесу метанового бродіння.
4. Параметри та контроль процесу метанового бродіння.
5. Основні підходи до стабілізації та оптимізації процесу анаеробного зброджування.
6. Інгібітори та активатори процесу анаеробного зброджування.
7. Аналіз ефективності та моніторинг процесу анаеробного зброджування.

Конспект лекційного матеріалу наведений у [презентації до лекції № 4](#) на навчальній платформі Moodle. Додаткову інформацію можна знайти в літературних джерелах [5, 7, 8, 9, 21, 36].

ЛЕКЦІЯ № 5

Технології очищення та збагачення біогазу до рівня біометану

На лекційному занятті слід розглянути такі питання:

1. Порівняння типового складу біогазу з біогазових установок та вимог до складу природного газу і біометану.
2. Основні матеріальні потоки та побічні продукти процесів збагачення біогазу.
3. Методи видалення небажаних компонентів з біогазу на етапі його попередньої обробки.
4. Класифікація основних методів збагачення біогазу до біометану.
5. Порівняння принципів та основних виробничих характеристик технологій збагачення біогазу.
6. Питомі виробничі видатки.
7. Європейська статистика поширення різних технологій збагачення біогазу до біометану.
8. Технології зрідження біометану. Виробництво біо-LNG.
9. Технології зрідження CO₂ від збагачення біогазу.
10. Матеріальні баланси при збагаченні біогазу.
11. Технології метанації газів.

Конспект лекційного матеріалу наведений у [презентації до лекції № 5](#) на навчальній платформі Moodle. Додаткову інформацію можна знайти в літературних джерелах [1, 2, 11, 12, 13, 16, 21].

ЛЕКЦІЯ № 6

Методи обробки та використання дигестату біогазових установок

На лекційному занятті слід розглянути такі питання:

1. Роль дигестату у відновленні родючості ґрунтів.
2. Основні властивості та характеристики дигестату біогазових установок.
3. Управління якістю дигестату.

4. Методи обробки і збагачення дигестату та продукти на його основі.
5. Стандартизація та сертифікація якості дигестату.
6. Використання дигестату та технології його внесення у ґрунти.
7. Економічні аспекти переробки та використання дигестату.
8. Приклади використання дигестату в Україні.

Конспект лекційного матеріалу наведений у [презентації до лекції № 6](#) на навчальній платформі Moodle. Додаткову інформацію можна знайти в літературних джерелах [5, 14, 15].

ЛЕКЦІЯ № 7

Використання біогазу і біометану

На лекційному занятті слід розглянути такі питання:

1. Біогаз і біометан як джерела енергії та шляхи їхнього використання.
2. Сучасний стан виробництва та використання біогазу / біометану в ЄС.
3. Комбіноване виробництво (когенерація) теплової та електричної енергії з біогазу в Європі.
4. Виробництво електроенергії з біогазу в Україні.
5. Виробництво та використання теплової енергії з біогазу.
6. Практичні приклади біогазових / біометанових установок.
7. Особливості використання біометану.
8. Державна підтримка розвитку біометанових технологій у країнах Європи.

Конспект лекційного матеріалу наведений у [презентації до лекції № 7](#) на навчальній платформі Moodle. Додаткову інформацію можна знайти в літературних джерелах [16, 17, 18, 19, 30, 34, 37, 38].

ЛЕКЦІЯ № 8

Екологічні, економічні та безпекові аспекти виробництва біогазу і біометану

На лекційному занятті слід розглянути такі питання:

1. Кліматична роль біогазових технологій. Вуглецевий слід виробництва біометану.
2. Оцінка викидів парникових газів (GHG) при виробництві

- біогазу.
3. Шляхи скорочення емісії парникових газів у біогазових комплексах і системах.
 4. Формування цін на біометан.
 5. Сталість виробництва біометану, система гарантій походження (GoO).
 6. Скорочення викидів парникових газів (Директива RED II).
 7. Сертифікація виробників біометану та торгівля з європейськими клієнтами.
 8. Робота зі змінним навантаженням на ринку електроенергії.

Конспект лекційного матеріалу наведений у [презентації до лекції № 8](#) на навчальній платформі Moodle. Додаткову інформацію можна знайти в літературних джерелах [28, 29, 30, 31, 32].

Рекомендовані інформаційні джерела Інтернету такі:

1. [Національний центр обліку викидів парникових газів.](#)
2. [Оператор ринку електроенергії в Україні.](#)
3. [Біржові ціни на природний газ Dutch TTF.](#)
4. [Біржові ціни на вуглець.](#)
5. [Ціни на біометан.](#)
6. Закон України [«Про ринок електричної енергії»](#) в частині РДН/ВДН.
7. Постанова НКРЕКП № 2099 від 9 листопада 2023 р. [«Про граничні ціни на ринку «на добу наперед», внутрішньодобовому ринку та балансуєчому ринку».](#)
8. [«Зелені» тарифи на електроенергію.](#)

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ ТА САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

Знайомство з успішними прикладами практичної реалізації проєктів біогазових і біометанових установок у світі, в ЄС та в Україні

Мета заняття

Познайомитися з успішними прикладами реалізації проєктів біогазових і біометанових установок у світі, в Європейському Союзі (ЄС) та в Україні.

Завдання до практичного заняття

На практичному занятті розглянути такі питання:

1. Практичні приклади збагачення біогазу до якості природного газу.
2. Практичні приклади термічної газифікації біомаси.
3. Практичні приклади біогазових установок з попередньою обробкою лігноцелюлозної сировини.
4. Практичні приклади виробництва та використання стисненого (bio-CNG) та скрапленого (bio-LNG) біометану як моторного палива.
5. Практичні приклади біометанації in-situ та ex-situ.
6. Практичні приклади біогазових установок в Україні.

Виконати наведені нижче практичні вправи.

Вправа 1.1. За даними інформаційних джерел мережі Інтернет розглянути практичні приклади збагачення біогазу до якості природного газу. За результатами розгляду інформаційних матеріалів скласти зведену таблицю з даними стосовно згаданих об'єктів за такими параметрами:

- виробник обладнання;
- рік введення в експлуатацію;
- режим ферментації сировини;
- технологія збагачення біогазу до біометану;
- продуктивність по збагаченню, нм³/год.

Вправа 1.2. За даними інформаційних джерел мережі Інтернет розглянути практичні приклади реалізації проєктів біогазових установок в Україні: на птахофабриках, на цукрових заводах, на тваринницьких комплексах тощо. За результатами розгляду інформаційних матеріалів скласти зведену таблицю з даними стосовно згаданих об'єктів за такими параметрами:

- назва комплексу;
- місце розташування;
- рік введення в експлуатацію;
- продуктивність за біогазом;
- сировина;
- параметри біогазових реакторів (ферментерів);
- інвестиції;
- використання біогазу.

Інформаційні матеріали, методика та приклади виконання практичних вправ наведені у [презентації до практичного заняття № 1](#) на навчальній платформі Moodle. Додаткову інформацію можна знайти в літературних джерелах [2, 6, 16, 33, 35].

Завдання до самостійної роботи

Самостійно опрацювати такі інформаційні джерела Інтернету:

1. [Проект GoBiGas](#) (Gothenburg Biomass Gasification), Швеція – найбільший у світі завод з газифікації біомаси з виробництвом синтетичного природного газу (Synthetic Natural Gas, SNG).
2. [VERBIO Nevada Biorefinery](#) – перший у США завод з виробництва відновлюваного природного газу (Renewable Natural Gas, RNG) з лігно-целюлозної сировини.
3. [Біометановий заводи Weltec](#), Франція.
4. [Біогазовий/біометановий завод Sheprey Energy Limited](#), Великобританія.
5. Завод з виробництва bio-LNG [Biokraft Sodertorn](#), Швеція.
6. [Oulu bio-CNG](#), Фінляндія – найпівнічніша в Європі заправна станція bio-CNG/bio-LNG.
7. [Біогазовий завод BKW Bützburg](#), Німеччина – метанація in-situ.
8. [Метанація ex-situ з використанням технології P2G](#), Данія.
9. Відеофільм «[Електроенергія з органічних відходів. Енергія Змін Андрія Жупанина](#)» (біогазовий комплекс «Вінницька

- птахофабрика»).
10. Відеофільм «[Електроенергія з курячого посліду. Енергія Змін Андрія Жупанина](#)» (ТОВ «Юзефо-Миколаївська біогазова компанія»).
 11. Відеофільм «[Як український біометан може замінити російський газ?](#)» (ТОВ «Городище-Пустоварівська аграрна компанія»).
 12. [Біогазова електростанція для ТОВ «Агрофірма ім. Чкалова» \(I&U Group «Капітанівський цукровий завод»\)](#).

Стислий конспект самостійно опрацьованого матеріалу надати викладачеві для перевірки.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

Знайомство з методами збирання, консервації, зберігання та підготовки сировини до анаеробного зброджування

Мета заняття

Познайомитися з практичними методами збирання сухої і вологої сировини для виробництва біогазу та біометану, її попередньої обробки, консервації зберігання і підготовки до зброджування, із впливом цих методів на швидкість та обсяг виходу біогазу та на технологію зброджування сировини.

Завдання до практичного заняття

На практичному занятті розглянути такі питання:

1. Збирання сухих і вологих поживних решток для виробництва біогазу і біометану.
2. Попередня обробка зібраної сировини (брикетування, гранулювання).
3. Мета та задачі зберігання і підготовки сировини до зброджування.
4. Методи консервації та зберігання сировини (силосу, поживних решток, жому, гною, посліду), їх вплив на вихід біогазу та технологію зброджування.
5. Методи підготовки сировини до зброджування, їх вплив на вихід біогазу та технологію зброджування.

Виконати наведені нижче практичні вправи.

Вправа 2.1. *Визначити потребу у техніці та виконати розрахунок видатків (CAPEX) на заготівлю соломи (з питомим виходом 4 т/га) з площі 700 га. Визначити структуру видатків на заготівлю соломи у великих прямокутних тюках в Європі та у відсотках у розрізі таких технологічних операцій: тюкування; збирання тюків; вантажні операції; перевезення.*

Вправа 2.2. *За літературним джерелом [39] скласти технологічну схему виробництва біометану на основі поживних решток (стебел, соломи).*

Вправа 2.3. *На підставі розглянутих на практичному занятті матеріалів сформулювати висновки щодо потреби у зберіганні та у попередній підготовці таких видів сировини, як: жом, поживні рештки, силос, лігно-целюлозна сировина тощо. Які заходи дозволяють зберігати потенціал виходу біогазу та якість сировини для зброджування, а також збільшувати швидкість та величину виходу біогазу?*

Інформаційні матеріали, методика та приклади виконання практичних вправ наведені у [презентації до практичного заняття № 2](#) на навчальній платформі Moodle. Додаткову інформацію можна знайти в літературних джерелах [7, 47, 48, 49].

Завдання до самостійної роботи

Самостійно опрацювати такі інформаційні джерела Інтернету:

1. [Степанович В. О. Технології виробництва силосу та сінажу](#) (презентація).
2. Відеофільм «[Wheat Harvesting and Straw Baling. Farming in Ukraine](#)» (збирання соломи).
3. Відеофільм «[BioG Maisstrohernte mit BioChipper](#)» (заготівля кукурудзиння кормозбиральним причепом).
4. Відеофільм «[General presentation about straw briquetting for biogas production](#)» (використання брикетів для виробництва біогазу).
5. Відеофільм «[Sand Separation Process for Dairy Farms](#)» (видалення із сировини домішок).
6. Відеофільм «[The BHS Biogrinder crushes and defibers organic](#)»

[waste from the green waste bin](#)» (подрібнення та гомогенізація сировини).

7. Відеофільм «Енергетичні гранули для біогазу – технологія Methaplanet» із сайту [Methaplanet](#).

Стислий конспект самостійно опрацьованого матеріалу надати викладачеві для перевірки.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

Знайомство з методами технологічного проектування біогазових реакторів та складання матеріальних балансів у системі сировина-біогаз-дигестат

Мета заняття

Познайомитися з базовими принципами послідовного технологічного проектування біогазових реакторів, основними параметрами технологічного процесу, основними задачами та методами досліджень процесу метанового бродіння, методами складання матеріальних балансів у системі сировина-біогаз-дигестат.

Завдання до практичного заняття

На практичному занятті розглянути такі питання:

1. Основи технологічного проектування біогазових реакторів.
2. Основні задачі та методи досліджень процесу метанового бродіння.
3. Матеріальні баланси в системі сировина-біогаз-дигестат.

Виконати наведені нижче практичні вправи.

Вправа 3.1. Виконати розрахунок органічного навантаження V_R на ферментер з робочим об'ємом 800 м^3 субстрату, що являє собою суміш гною великої рогатої худоби (ВРХ) з річною витратою 2200 т/рік , харчових відходів – 700 т/рік , сухого посліду птахівництва – 500 т/рік , відсепарованого жиру – 800 т/рік . Вміст органічної сухої речовини у відсотках маси в окремих складових суміші становить відповідно: гній ВРХ – $9,0\%$, харчові відходи – $17,0\%$, сухий послід птахівництва – $34,0\%$, відсепарований жир – $27,0\%$.

Вправа 3.2. Розглянути приклад складання масового балансу при збродженні суміші 30 т/добу силосу кукурудзи та 20 т/добу технологічної води. Оцінити вміст окремих компонентів у відсотках у складі:

- вхідної сировини (зброджувана суха органічна речовина, незброджувана суха органічна речовина, зола, вода);
- вихідного дигестату (сухий біогаз, приріст бактеріальної маси, зброджувана суха органічна речовина, незброджувана суха органічна речовина, зола, пара вологи в біогазі, вода).

Вправа 3.3. На підставі розглянутих на практичному занятті матеріалів сформулювати висновки щодо ефективності отримання метану шляхом метанового бродіння органічного субстрату, стадійності цього процесу, ключових факторів впливу на нього, режимів його реалізації, допустимої величини органічного навантаження в біореакторі проточного типу, трансформації органічної речовини в сировині під час метанового бродіння.

Інформаційні матеріали, методика та приклади виконання практичних вправ наведені у [презентації до практичного заняття № 3](#) на навчальній платформі Moodle. Додаткову інформацію можна знайти в літературних джерелах [50, 51].

Завдання до самостійної роботи

Самостійно опрацювати такі інформаційні джерела Інтернету:

1. Матеріали сайту [SIMBA#BIOGAS](#).
2. Відеофільм «[BIOTIM UASB](#)» (реактори для анаеробного очищення стічних вод).

Стислий конспект самостійно опрацьованого матеріалу надати викладачеві для перевірки.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

Знайомство з основними ризиками та заходами безпеки при виробництві біогазу і біометану

Мета заняття

Познайомитися з фізичними та паливними властивостями біогазу і факторами, що на них впливають, з методами попередження або

зменшення витоків біогазу в технології анаеробного збродження, з небезпеками для людей та для довкілля при виробництві біогазу, з технікою безпеки на біогазових установках.

Завдання до практичного заняття

На практичному занятті розглянути такі питання:

1. Фізичні та паливні властивості біогазу.
2. Фактори, що впливають на властивості біогазу.
3. Витоки біогазу в технології анаеробного збродження.
4. Методи попередження або зменшення витоків біогазу.
5. Техніка безпеки на біогазових установках.
6. Інші небезпеки для людей при виробництві біогазу.
7. Небезпеки для довкілля при виробництві біогазу.

Виконати наведені нижче практичні вправи.

Вправа 4.1. *Скласти зведену таблицю з небезпеками, що пов'язані з окремими складовими біогазу – метаном, вуглекислим газом, сірководнем, аміаком, за такими параметрами: хімічна формула, властивості, густина, реакційна здатність, небезпека для здоров'я людини, максимальна допустима концентрація в робочій зоні.*

Вправа 4.2. *Скласти зведену таблицю з переліком основних заходів щодо протипожежного захисту на біогазових установках з розбивкою на заходи із запобігання пожежі (в розрізі пожежної безпеки конструкцій, протипожежного захисту установок, організаційної пожежної профілактики) та ліквідації пожежі.*

Вправа 4.3. *На підставі розглянутих на практичному занятті матеріалів сформулювати висновки щодо існуючих на біогазових станціях небезпек для людини і довкілля та методів запобігання ним.*

Інформаційні матеріали, методика та приклади виконання практичних вправ наведені у [презентації до практичного заняття № 4](#) на навчальній платформі Moodle. Додаткову інформацію можна знайти в літературних джерелах [52, 53, 54].

Завдання до самостійної роботи

Самостійно опрацювати такі інформаційні джерела Інтернету:

1. [Oxfordshire explosion: Plant had permission for lightning mast](#) (техногенні небезпеки, що пов'язані з біогазом).
2. Відеофільм «[Біометан – газ майбутнього, джерело сталої, відновлюваної та чистої енергії](#)» на сайті UABIO.
3. [Словник Біогазових Термінів – AgroBiogas](#).

Стислий конспект самостійно опрацьованого матеріалу надати викладачеві для перевірки.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

Оцінка можливостей і умов підключення виробників біометану до систем передачі та розподілу газу в Україні

Мета заняття

Познайомитися з економічними оцінками вигоди для виробників біогазу від подачі біометану в газову мережу, з вимогами ГТС та ГРМ України до якості біометану, з порядком приєднання виробників біометану до ГТС та ГРМ, з обладнанням для подачі біометану в газові мережі та для вимірювання його якісних характеристик, з вартістю підключення до газових мереж та необхідного для цього супутнього обладнання.

Завдання до практичного заняття

На практичному занятті розглянути такі питання:

1. Вигоди для виробників біогазу від подачі біометану в газову мережу.
2. Вимоги газотранспортної та газорозподільної мереж до якості біометану.
3. Порядок приєднання виробників біометану до газотранспортної та газорозподільної мереж.
4. Обладнання для подачі біометану в газові мережі та вимірювання його якісних характеристик.
5. Вартість підключення до газових мереж та супутнього обладнання.

Виконати наведені нижче практичні вправи.

Вправа 5.1. *Скласти таблицю з порівнянням типового складу й інших характеристик біогазу з біогазової установки та відповідних вимог до якості природного газу (згідно з Кодексом*

газотранспортної системи України) та біометану, що передається до газорозподільної мережі.

Вправа 5.2. Скласти покрокову схему процедури приєднання виробника біометану до газотранспортної системи України за умови, що замовник виступає виконавцем робіт з проектування, будівництва та облаштування вузла обліку газу (ВОГ).

Вправа 5.3. На підставі розглянутих на практичному занятті матеріалів сформулювати висновки щодо розташування пріоритетних зон підключення біометанових заводів в Україні.

Інформаційні матеріали, методика та приклади виконання практичних вправ наведені у [презентації до практичного заняття № 5](#) на навчальній платформі Moodle.

Завдання до самостійної роботи

Самостійно опрацювати такі інформаційні джерела Інтернету:

1. Відеофільм «[Reciprocating compressor](#)» (поршневий компресор).
2. Відеофільм «[EnviThan technology in focus: gas upgrading with membrane technology](#)» (компресорні станції).
3. Відеофільм «[Rainbarrow Farm, UK's first commercial biomethane to grid plant](#)» (обладнання для підключення до газових мереж).
4. [Інтерактивна карта оптимальних зон розміщення біометанових заводів в Україні.](#)

Стислий конспект самостійно опрацьованого матеріалу надати викладачеві для перевірки.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

Використання біометану як моторного палива для наземного та морського транспорту

Мета заняття

Познайомитися із сучасним станом та перспективами використання біометану як моторного палива у транспортному секторі, з розвитком відповідної інфраструктури та технологій стиснення і скраплення біометану у світі, в Європі та в Україні.

Завдання до практичного заняття

На практичному занятті розглянути такі питання:

1. Тенденції використання біометану як моторного палива.
2. Розвиток інфраструктури для використання біометану як моторного палива.
3. Використання стисненого (bio-CNG) та зрідженого (bio-LNG) біометану в автомобільному транспорті.
4. Використання bio-LNG на морському транспорті.
5. Загальні висновки щодо використання біометану у транспортному секторі.
6. Стан та перспективи використання біометану на транспорті в Україні

Виконати наведені нижче практичні вправи.

Вправа 6.1. Скласти рейтингову таблицю з порівнянням сучасного стану використання біометану у провідних європейських країнах за такими показниками:

- кількість біометану, що використовується на транспорті, ГВт·год;
- часта використовуваного на транспорті від загальної кількості виробленого біометану, %;
- кількість заправних станцій CNG та LNG;
- кількість заправних станцій bio-CNG та bio-LNG.

Вправа 6.2. На підставі розглянутих на практичному занятті матеріалів сформулювати загальні висновки щодо сучасного стану та перспектив використання біометану у транспортному секторі у світі, в Європі та в Україні.

Вправа 6.3. Сформулювати перелік основних напрямків державної підтримки використання біометану як моторного палива, які, на вашу думку, необхідні для розвитку цієї галузі в нашій країні.

Інформаційні матеріали, методика та приклади виконання практичних вправ наведені у [презентації до практичного заняття №](#)

6 на навчальній платформі Moodle. Додаткову інформацію можна знайти в літературному джерелі [45].

Завдання до самостійної роботи

Самостійно опрацювати такі інформаційні джерела Інтернету:

1. Матеріали сайту [The Natural & bio Gas Vehicle Association \(NGVA Europe\)](#).
2. Матеріали сайту [SEA – LNG](#).
3. Буклет «[Biomethane: an easy answer to the complex equation of transport decarbonization](#)».
4. Інтерактивна карта «[All European CNG & LNG stations](#)».
5. Інтерактивна карта «[LNG на морському транспорті/SEA-LNG](#)».

Стислий конспект самостійно опрацьованого матеріалу надати викладачеві для перевірки.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

Знайомство з прикладами техніко-економічного обґрунтування виробництва та використання біогазу і біометану

Мета заняття

Познайомитися з метою та задачами складання техніко-економічного обґрунтування проєктів виробництва біометану, з основними концепціями виробництва біометану, з типовими інвестиційними та операційними видатками проєктів, з прикладами ТЕО біометанових заводів в Україні.

Завдання до практичного заняття

На практичному занятті розглянути такі питання:

1. На які питання має відповідати техніко-економічне обґрунтування (ТЕО)?
2. Концепції виробництва біометану.
3. Типові інвестиційні (CAPEX) та експлуатаційні (OPEX) видатки проєктів з виробництва біометану.
4. Приклади ТЕО біометанових заводів.

Виконати наведені нижче практичні вправи.

Вправа 7.1. Сформулювати перелік основних питань, на які має

відповідати техніко-економічне обґрунтування проєкту з виробництва біометану (у розрізі технічної та економічної доцільності й оцінки можливих ризиків проєкту).

Вправа 7.2. Скласти блок-схему основних складових собівартості виробництва біометану.

Вправа 7.3. На підставі прикладу виробництва 8 млн м³/рік біометану та 11 тис. т/рік скрапленого вуглекислого газу з агроміксу (курячий послід, кукурудзяна солома, гній свиней, покривні культури тощо) оцінити відсоткову вагу окремих складових у загальній сумі:

- інвестиційних видатків (CAPEX) на комплекси виробництва і збагачення біогазу та зрідження вуглекислого газу, на логістику дигестату, подачу біометану в газорозподільну систему, логістику CO₂, котельню, приєднання до електромережі та інші заходи;
- експлуатаційних видатків (OPEX) на закупівлю сировини (з логістикою), виробництво та збагачення біогазу, зрідження CO₂, виробництво тепла, логістику дигестату, біометану та CO₂;
- енергетичних витрат на виробництво і збагачення біогазу, зрідження CO₂, подачу біометану в газорозподільну систему, виробництво тепла в котельні, сепарацію дигестату.

Інформаційні матеріали, методика та приклади виконання практичних вправ наведені у [презентації до практичного заняття № 7](#) на навчальній платформі Moodle. Додаткову інформацію можна знайти в літературних джерелах [2, 40, 41, 42, 43, 44, 46].

Завдання до самостійної роботи

Самостійно опрацювати такі інформаційні джерела Інтернету:

1. [Настанова з аналізу здійсненності інвестиційних проєктів біометану](#).
2. Матеріали вебінару «[Крім енергії – монетизація переваг біометану всієї системи](#)».

Стислий конспект самостійно опрацьованого матеріалу надати викладачеві для перевірки.

ГЛОСАРІЙ

bio-CNG – стиснений біометан.

bio-LNG – скраплений біометан.

CAPEX (CAPital EXpenditure) – капітальні (інвестиційні) видатки – капітал, що використовується компаніями набування чи модернізації фізичних активів (житлової і промислової нерухомості, обладнання, технологій).

CNG (Compressed natural gas) – стиснений (компримований) природний газ – природний газ, що стиснутий на компресорній станції до тиску 200-250 бар (196-245 кг/см²) для використання як паливо у двигунах внутрішнього згоряння.

DIN – стандарт DIN Німецького інституту зі стандартизації.

ex-situ – поза вихідним місцем, антонім терміну in-situ.

FOS – леткі органічні кислоти (визначаються як узагальнений показник методом титрування).

FOS/TAC – параметр для оцінки сталості протікання процесу ферментації.

GHG (Greenhouse gas) – парникові гази – такі гази в атмосфері Землі, які можуть утримувати тепло. Вони дозволяють сонячному світлу вільно проникати в атмосферу, але перешкоджають виходу тій частині тепла, яку Земля зазвичай випромінює назад у космос.

GFM – послід птахівницьких господарств.

GGPS, GPS – злаковий силос із цільної рослини.

GRL – сховище решток біомаси, що підлягає ферментації.

GS – трав'яний силос.

GTK – суха фракція посліду птахівницьких господарств.

НAc – еквівалент оцтової кислоти.

НTK – суха фракція курячого посліду.

in-situ – «на місці», в місці знаходження, у природному середовищі – науковий термін латинською мовою для позначення оригінального

(первинного, без переміщення) місця проведення дослідів, спостережень та експериментів.

Input – завантаження – сукупність всіх завантажених у реактор субстратів.

IRR (internal rate of return) – внутрішня норма дохідності.

KWK – когенерація.

LKS – силос із качанів та стебел кукурудзиння.

LNG (Liquefied natural gas) – скраплений природний газ – природний газ (переважно метан), що штучно зріджений шляхом адіабатичного здійснення роботи в турбодетандері, при цьому метан охолоджується до -160°C для зручності зберігання чи транспортування.

LPG (Liquefied petroleum gas) – скраплений нафтовий газ – суміш легких вуглеводнів з нафтового пласту, які за нормальної температури перебувають у газоподібному стані і зріджуються при охолодженні або під тиском.

MS – кукурудзяний силос.

NaWaRo(s) – відновлювана сировина; установка на відновлюваній сировині; біогазова установка, що працює виключно на відновлюваній сировині.

OPEX (OPerating EXpense, operating expenditure, operational expense, operational expenditure) – експлуатаційні (операційні) видатки – повсякденні видатки компанії для ведення бізнесу, виробництва продукції, надання послуг.

ORC – органічний цикл Ренкіна.

ppm – частин на мільйон.

RED II – оновлена європейська директива з відновлюваних джерел енергії, мета якої – досягнення щонайменше 32%-ої частки енергії з відновлюваних джерел у валовому кінцевому споживанні енергії ЄС до 2030 року.

RFM – тверда фракція гною ВРХ.

RG – гнійна рідота ВРХ.

RJ – рідка гноївка ВРХ.

RNG (Renewable Natural Gas) – відновлюваний природний газ – газ, що виробляється з органічних відходів і хімічно ідентичний до звичайного трубопровідного газу; біометан трубопровідної якості, який отримують з біомаси.

RV – об'єм реактора.

SBGPS – силос із соняшнику (силос із цільної рослини).

SFM – тверда фракція свинячого гною.

SG – свиняча гнійна рідота.

SNG (Synthetic Natural Gas) – синтетичний природний газ – газ, що отриманий у результаті змішування повітря з якимсь газом або сумішшю газів, що мають теплотворну спроможність, яка дорівнює теплотворній спроможності метану.

SuGrass – суданська трава.

TAC – сумарний неорганічний карбонат (лужність).

TMP-Rührwerk – пропелерна мішалка із заглибним двигуном.

UABIO – Біоенергетична асоціація України.

АДЕ – альтернативні джерела енергії.

Аміак (NH₃) – азотовмісний газ, що утворюється при розкладанні азотовмісних сполук, приміром, білків, сечовини, сечової кислоти.

Анаеробна обробка – біотехнологічний процес без доступу повітря (кисню) з метою розщеплення органічної частини сировини при утворенні біогазу.

Анаеробне біологічне розкладання – розкладання органічних речовин за рахунок життєдіяльності анаеробних бактерій, що супроводжується утворенням газу.

Анаеробні мікроорганізми (анаероби) – мікроорганізми, що живуть і розмножуються у середовищі без вільного чи розчиненого кисню.

Ацетогенез – утворення оцтової кислоти, водню та вуглекислого

газу з продуктів гідролізного розкладання сировини.

БГУ – біогазова установка.

Биогаз – продукт анаеробного біологічного розкладання органічних субстратів, що містить близько 45-60% метану, 30-55% діоксиду вуглецю, невеликі об'єми азоту, сірководню та інші незначні газові домішки.

Биогазова установка (станція) – установка для виробництва, зберігання та використання біогазу, включаючи всі пристрої та споруди, що необхідні для її експлуатації.

Біологічне розщеплення – розщеплення біологічних речовин, приміром, залишків рослинного та тваринного походження, мікроорганізмами до простіших сполук.

Биомаса – будь-яка сировина тваринного і рослинного походження, відходи та побічні продукти сільського господарства, рибного і лісового господарства, деревні відходи, що використовується як джерело енергії.

Биометан – очищений (збагачений) біогаз – оброблений (сирий) біогаз, що після обробки (осушування, видалення вуглекислого газу та десульфуризації) має такі самі властивості горіння, як і природний газ, і може подаватися в мережу природного газу.

Буфер – здатність кислотно-лужної пари зв'язувати іони H^+ або OH^- .

ВДЕ – відновлювані джерела енергії.

Викиди – газоподібні, рідкі або тверді речовини, а також шуми, вібрації, світло, тепло та випромінювання, що потрапляють в атмосферу з установки або в результаті технологічного процесу.

Відновлювана сировина – загальне позначення біомаси, що використовується у вигляді сировини і має енергетичний потенціал (матеріали, що не призначені для використання у вигляді кормів чи продуктів харчування).

ВРХ – велика рогата худоба.

Вторинні енергоносії – енергоносії, що утворюються в результаті

перетворення на технічних установках з первинних або інших вторинних енергоносіїв чи енергій, приміром, бензин, мазут, електроенергія.

Вуглецевий слід (Carbon Footprint) – баланс CO₂, що вказує на кількість викидів вуглекислого газу, здійснені людиною за певний проміжок часу.

Газгольдер – газонепроникний резервуар або мішок із плівки, в якому зберігається біогаз.

Газовий купол – насадка на реакторі, в якій накопичується біогаз і звідки він відводиться.

ГДК – гранично допустима концентрація.

Гігієнізація – додатковий технологічний етап для зменшення кількості або знищення збудників захворювань та фітопатогенів (дезинфекція).

Гідроліз – процес мікробіологічного розкладання органічного субстрату до виникнення коротколанцюгових органічних кислот і спиртів, що протікає перед метаногенезом та ацетогенезом.

Декарбонізація – процес дистанціювання від використання вуглецевмісних джерел енергії.

Десульфурізація (видалення сірки) – хіміко-фізичний, біологічний або комбінований процес, що спрямований на зменшення вмісту сірки у біогазі.

Дигестат – рідкий або твердий залишок від виробництва біогазу, що містить органічні та неорганічні компоненти.

Еквівалент оцтової кислоти – сума концентрацій органічних кислот, що нормуються за масою оцтової кислоти.

Емісія – викид якоїсь речовини в атмосферу.

Енергоефективність – раціональне використання енергетичних джерел, використання менших обсягів енергії для забезпечення того самого рівня енергетичного забезпечення виробничих процесів.

ЄС – Європейський Союз.

Зброджуваний матеріал (зброджувана суміш) – матеріал у ферментері біогазової установки.

Звалищний газ – горючий газ, що утворюється в результаті розщеплення органічних відходів на звалищах.

ЗТ – «зелений» тариф.

Каналізаційний газ – легкозаймистий газ, що утворюється на каналізаційних очисних спорудах при обробці осаду стічних вод – одного із видів біомаси.

Кислотне число – показник, що використовується для маркування вмісту вільних кислотних компонентів у досліджуваних речовинах.

Когенерація – одночасне перетворення виробленої енергії в електричну (або механічну) енергію та тепло, що призначене для енергетичного використання (корисне тепло).

Косустрат – матеріал для бродіння, що не є матеріалом з найбільшим відсотковим умістом у загальному потоці матеріалів для бродіння.

Метаногенез – мікробіологічне утворення метану або з оцтової кислоти, або з H_2 та/або з CO_2 та H_2 .

Метантенк – резервуар, в якому відбувається мікробіологічне розщеплення органічної сировини з одночасним утворенням біогазу.

НПДВЕ – Національний план дій з відновлюваної енергетики.

н. е. – нафтовий еквівалент.

нм³ – нормований кубометр (при 0°C та 1013 мбар).

Об'ємне навантаження – співвідношення об'єму субстрату, який щодоби подається в реактор, та об'єму реактора.

оСР – вміст органічної сухої речовини (у % СМ).

ПГ – парникові гази.

Процес ферментації – біохімічний процес анаеробної деградації органічних полімерних та інших сполук за допомогою мікроорганізмів з отриманням таких продуктів, як біогаз та біодобрива.

Реактор – резервуар, в якому відбувається мікробіологічне розкладання субстрату при одночасному утворенні біогазу.

Розкладання – розпад органічних сполук на прості сполуки або молекули в ході біотичних чи абіотичних процесів.

Силоксани – органічні сполуки кремнію, а також сполуки кремнію (Si), кисню (O), вуглецю (C) та водню (H).

Силос – законсервований шляхом бродіння з використанням молочної кислоти рослинний матеріал.

СМ – свіжа маса.

Співвідношення C/N – співвідношення об'єму вуглецю до об'єму азоту. У біомасі для бродіння відповідає за оптимальний процес бродіння.

СР – вміст сухої речовини (у % СМ).

Ступінь розкладання – віднесене до вихідного вмісту субстрату зменшення концентрації органічної речовини внаслідок анаеробного розкладання.

Субстрат – органічний і здатний до біологічного розкладання матеріал, що призначений для бродіння з метою виробітку біогазу.

ТПВ – тверді побутові відходи.

Ферментер – ємність, у якій здійснюється мікробіологічне розкладання субстрату при одночасному утворенні біогазу.

ХПК – хімічна потреба в кисні.

Час перебування – середній час перебування субстрату в реакторі.

ЛІТЕРАТУРА

1. [Outlook for biogas and biomethane](#). Prospects for organic growth. World Energy Outlook Special Report. IEA, 2020. 93 p.
2. Гелетуха Г., Кучерук П., Матвеев Ю. [Перспективи виробництва біометану в Україні](#). Аналітична записка UABIO, № 29, 2022. 60 с.
3. [Виробництво і використання біогазу в Україні](#). Рада з питань біогазу з. т. / Biogasrat e.V. 2012. 74 с.
4. Едер Б., Шульц Х. [Біогазові установки](#) : практ. посіб. Zorg Biogas, 2011. 268 с.
5. [Настанова з біогазу. Від отримання до використання](#). 5-е повн. перероб. вид. Агенція з відновлюваних ресурсів (FNR), Гюльцов, Німеччина, 2010. 215 с.
6. [Дорожня карта розвитку біоенергетики України до 2050 року](#). Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Матвеев Ю. Б. та ін. Аналітична записка UABIO, № 26, 2020. 54 с.
7. [Виробництво енергії з біомаси в Україні](#). Технології, розвиток, перспективи. / Ін-т технічної теплофізики НАН України; за ред. Г. Гелетухи. Київ : Академперіодика, 2022. 373 с.
8. Biological Wastewater Treatment Series. Volume Four. [Anaerobic Reactors](#). By C. A. de L. Chernicharo. London – New York, IWA Publishing, 2007. 190 p.
9. [Process monitoring in biogas plants](#). Technical Brochure written by: V. Drog. IEA Bioenergy, 2013. 38 p.
10. Кучерук П. П. [Підвищення ефективності виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гнойових відходів та силосу кукурудзи](#). Дисертація на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. Київ : Інститут технічної теплофізики, 2016. 164 с.
11. [Biogas Drying and Purification Methods](#). F. Mwacharo, S. Bhandari, A. Othman, A.-R. Rautio. Centria University of Applied Sciences, 2020. 53 p.
12. Крамар В. Г. [Технології збагачення біогазу та їх характеристики](#). *Теплофізика та теплоенергетика*, 2023, т. 45, № 1. С. 64–74.
13. [Technologies for Biogas Upgrading to Biomethane: A Review](#). A. I. Adan, M. Y. Ong, S. Nomanbhay, K. W. Chew, P. L. Show. Bioengineering, 2019, 6, 92. 23 p.
14. [Digestate as Fertilizer](#). Application, upgrading and marketing. Fachverband Biogas e.V., 2018. 64 p.
15. [Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer](#).

- T. Al Seadi, C. Lukehurst. IEA Bioenergy, 2012. 40 p.
16. [Biogas to Biomethane](#). Flexible energy supply from biomass. Fachverband Biogas e.V., 2017. 68 p.
 17. [Sustainable Heat Use of Biogas Plants](#). A Handbook. 2nd ed. WIP Renewable Energies, Munich, Germany, 2015. 92 p.
 18. [Biomethane zoning and assessment of the possibility and conditions for connecting of biomethane producers to the gas transmission and distribution systems of Ukraine](#). Final report. Ver. 01, 018/11/2021. Prepared by SEC “Biomass” & LLC Dentons Europe, 2021. 191 p.
 19. [European Biomethane Benchmark](#). C. De Lorgeril. SIA-partners, May 2022. 32 p.
 20. [Біогаз](#). Київ : ЮНІДО, 2015. 48 с.
 21. [Biogas Handbook](#). T. A. Seadi, D. Rutz, H. Prassl, et al. University of Southern Denmark Esbjerg, Esbjerg, Denmark, 2008. 126 p.
 22. Школяр В. О. [Підвищення ефективності та екологічної чистоти роботи біогазової когенераційної установки](#). Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра. Київ : НТУ України, КПІ ім. І. Сікорського, 2023. 116 с.
 23. [Біоенергія. Загальна інформація. Тверде біопаливо. Рідке біопаливо. Біогаз](#). Агенція з відновлюваних ресурсів (FNR), Гюльцов, Німеччина, 2012. 28 с.
 24. [Біогаз на основі відновлюваної сировини. Порівняльний аналіз шістдесяти однієї установки з виробництва біогазу в Німеччині](#). Агенція з відновлюваних ресурсів (FNR), Гюльцов, Німеччина, 2010. 118 с.
 25. [Розвиток біогазових технологій в Україні та Німеччині: нормативно-правове поле, стан та перспективи](#). Агенція з відновлюваних ресурсів (FNR), Київ – Гюльцов, Україна – Німеччина, 2013. 72 с.
 26. Матвеев Ю. Б. [Огляд існуючих БГУ, перспективи розвитку](#). Київ : Біоенергетична асоціація України, 2016. 25 с.
 27. [Біогаз на сільському подвір'ї](#) : серія «Робимо самі» / укл. А. А. Шомін. Балаклея : Інф.-видав. комп. «Балаклійщина», 2002. 68 с.
 28. [Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку виробництва біометану»](#). № 1820-IX від 21 жовтня 2021 року.
 29. [Порядок функціонування реєстру біометану](#). Постанова Кабінету

Міністрів України від 22 липня 2022 р. № 823.

30. [Директива \(ЄС\) 2023/2413](#) Європейського Парламенту та Ради від 18 жовтня 2023 року про внесення змін до Директиви (ЄС) 2018/2001, Регламенту (ЄС) 2018/1999 та Директиви 98/70/ЄС щодо заохочення використання енергії з відновлюваних джерел та скасування Директиви Ради (ЄС) 2015/652.
31. [Меморандум про взаєморозуміння між Україною та ЄС щодо стратегічного партнерства у сфері біометану, водню та інших синтетичних газів.](#)
32. [Проект Закону про внесення змін до Митного кодексу України щодо митного оформлення біометану.](#) № 9456 від 03.07.2023.
33. [Десять кроків України для відмови від російського природного газу.](#) Гелетуха Г., Железна Т., Драгнев С., Гайдай О. *Аналітична записка UABIO*, № 28, 2022. 47 с.
34. [Biogas Barometer.](#) A study carried out by EurObserv'ER. October 2023. 16 p.
35. [Biomethane production potentials in the EU.](#) Feasibility of REPowerEU 2030 targets, production potentials in the Member States and outlook to 2050. A Gas for Climate report. July 2022. Guidehouse Netherlands B. V. 35 p.
36. [Value of batch tests for biogas potential analysis.](#) Method comparison and challenges of substrate and efficiency evaluation of biogas plants. IEA Bioenergy : Task 37 : 2018 : 10. 44 p.
37. [Renewable Gas French Panorama as of 31 December 2019.](#) GRDF, 2019. 32 p.
38. [Manual for National Biomethane Strategies.](#) September 2022. Guidehouse Netherlands B.V., 2022. 34 p.
39. Andersen, L.F., Parsin, S., Lüdtkе, O. *et al.* [Biogas production from straw – the challenge feedstock pretreatment.](#) *Biomass Conv. Bioref.* **12**, 379–402 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00740-y>
40. [D6.1 Mapping the state of play of renewable gases in Europe.](#) REGATRACE, January 2020. 62 p.
41. [D6.2 Guidebook on securing financing for biomethane investments.](#) REGATRACE, September 2020. 142 p.
42. [D6.3 Long-terms visions and roadmaps.](#) REGATRACE, April 2022. 68 p.
43. [D6.4 Guidance for feasibility analysis covering biomethane investment projects – Ukraine.](#) REGATRACE, September 2022. 81 p.

44. [Insights into the current cost of biomethane production from real industry data](#). BIP Europe, October 2023. 57 p.
45. [Perspectives on biomethane as a transport fuel within a circular economy, energy, and environmental system](#). IEA bioenergy: Task 37. December 2021. 90 p.
46. [Geographical analysis of biomethane potential and costs in Europe in 2050](#). ENGIE. 43 p.
47. [Енергія з соломи. Технології, стратегії та інновації у Данії](#). 2-ге вид. Food & Bio Cluster, Denmark. UABIO. 56 с.
48. [Енергія з решток кукурудзи](#). UABIO. 48 с.
49. [Аналіз виробництва пелет та брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно](#). Гелетуха Г., Драгнев С., Железна Т., Баштовий А. *Аналітична записка UABIO*, № 23, 2020. 42 с.
50. [Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries](#). Practical Information and Case Studies. Y. Vögeli, C. R. Lohri, A. Gallardo, S. Diener, C. Zurbrügg. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland. 138 p.
51. [The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 \(ADM1\)](#). D. J. Batstone, J. Keller, I. Angelidaki e. a. *Water Science and Technology*. Vol. 45. No 10. pp 65-73.
52. [Composition and Toxicity of Biogas Produced from Different Feedstocks in California](#). Y. Li, C. P. Alaimo, M. Kim e. a. *Environ Sci Technol*. 2019 October 01; 53(19): 11569-11579.
53. [Methane emissions from biogas plants](#). Methods for measurement, results and effect on greenhouse gas balance of electricity produced. IEA Bioenergy Task 37: 2017: 12. 52 p.
54. [Methane emissions along biomethane and biogas supply chains are underestimated](#). S. Bakkaloglu, J. Cooper, A. Hawkes. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.05.012>.