



## ВИРОБНИЦТВО ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ З БІОМАСИ. ВИРОБНИЦТВО БІОГАЗУ І БІОМЕТАНУ.

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	<i>14 – Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>144 Теплоенергетика</i>
Освітня програма	<i>Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, осінній / весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен</i>
Розклад занять	
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., с.н.с., Гелетуха Георгій Георгійович, <a href="mailto:geletukha@uabio.org">geletukha@uabio.org</a>, к.т.н., Крамар Володимир Генрієвич, <a href="mailto:kramar@secbiomass.com">kramar@secbiomass.com</a>, к.т.н., Кучерук Петро Петрович, <a href="mailto:kucheruk@secbiomass.com">kucheruk@secbiomass.com</a> Семінарські: к.т.н., Крамар Володимир Генрієвич, <a href="mailto:kramar@secbiomass.com">kramar@secbiomass.com</a> к.т.н., Кучерук Петро Петрович, <a href="mailto:kucheruk@secbiomass.com">kucheruk@secbiomass.com</a></i>
Розміщення курсу	<i>Посилання на дистанційний ресурс (Google classroom - код доступу надається викладачем на першому занятті).</i>

#### Програма навчальної дисципліни

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

Основною метою навчальної дисципліни «Виробництво теплової і електричної енергії з біомаси. Виробництво біогазу і біометану» є отримання аспірантами знань в області використання відновлюваних джерел енергії в енергетиці і паливно- енергетичному комплексі. Курс складається з двох розділів: «Виробництво теплової і електричної енергії з біомаси» та «Виробництво біогазу і біометану».

В першому розділі розглядаються основні властивості твердої біомаси як палива та напрямки її енергетичного використання, технологічні аспекти спалювання біомаси в енергетичних установках. Наведені приклади впровадження проєктів енергетичного використання твердої біомаси в Україні та інших країнах, проаналізовані основні тенденції та перспективи розвитку виробництва теплової та електричної енергії з біомаси.

У другому розділі розглядаються теоретичні основи процесу метанового бродіння, види та характеристики сировини для виробництва біогазу, технологічні схеми біогазових установок та їх основні елементи, типи та конструкції анаеробних ферментерів, склад та властивості біогазу, методи очистки та збагачення біогазу до біометану, а також перспективні інноваційні технології виробництва відновлюваного метану. Наведено приклади проєктів виробництва біогазу та біометану в Україні та в світі.

Прослухавши курс аспіранти повинні вміти самостійно формулювати задачі, виконувати дослідно-конструкторські роботи та аналітичні дослідження, робити обґрунтовані висновки щодо технологій енергетичного використання біомаси, біогазу та біометану.

Навчання має розвинути у аспірантів наступні компетентності:

#### ЗДАТНІСТЬ:

- продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми у теплоенергетичній галузі, професійній та/або дослідницько-інноваційній діяльності;
- проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення;

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;

ЗК02. Здатність працювати в міжнародному контексті;

ЗК03. Здатність розв'язувати комплексні проблеми у сфері теплоенергетики на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності;

СК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукові результати, які створюють нові знання у сфері теплоенергетики та дотичних до неї міждисциплінарних напрямках;

СК04. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру у сфері теплоенергетики, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

Після засвоєння навчальної дисципліни аспіранти мають продемонструвати такі результати навчання:

#### ЗНАННЯ:

- технологічних аспектів спалювання біомаси в енергетичних установках;
- методів розрахунку та принципів управління процесом виробництва біогазу в анаеробних ферментерах.

#### УМІННЯ:

- організовувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди;
- виконувати пошук, оброблення та аналіз інформації з різних джерел.

РН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з теплоенергетики і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з теплоенергетики, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

РН02. Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми теплоенергетики державною та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях.

РН04. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у теплоенергетиці та дотичних міждисциплінарних напрямках.

PH05. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з теплоенергетики та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

PH06. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми теплоенергетики з дотриманням норм академічної етики і врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.

PH07. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи.

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

Вивчення курсу «Виробництво теплової і електричної енергії з біомаси. Виробництво біогазу і біометану» базується на таких спеціальностях, що включені до переліку напрямів, за якими здійснюється підготовка фахівців у вищих навчальних закладах за освітньо-кваліфікаційним рівнем магістра: «Теплоенергетика», «Теплофізика», «Теплові електричні станції», «Технології теплоносіїв та палива на теплових електростанціях», «Енергетичний менеджмент».

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час опанування навчальної дисципліни «Виробництво теплової і електричної енергії з біомаси. Виробництво біогазу і біометану» можна використовувати в подальшому під час вивчення спеціалізованих дисциплін фізико-енергетичного циклу, що забезпечує індивідуальну наукову роботу аспірантів.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1 Використання твердої біомаси як палива на котельних**

Тема 1.1 Основні напрямки енергетичного використання твердої біомаси

Тема 1.2 Основні властивості твердої біомаси як палива, що впливають на її використання

Тема 1.3 Підготовка біомаси до спалювання в енергетичних установках та контроль якості паливної сировини

Тема 1.4 Використання твердої біомаси в автономному та централізованому тепlopостачанні

Тема 1.5 Теплові акумулятори та теплоутилізатори

Тема 1.6 Використання твердої біомаси в промисловості та сільському господарстві

Тема 1.7 Приклади впроваджених проєктів енергетичного використання твердої біомаси

### **Розділ 2 Використання твердої біомаси як палива на ТЕЦ і ТЕС**

Тема 2.1 Основні технології виробництва електричної енергії з використанням твердої біомаси

Тема 2.2 Основні типи базових енергоустановок для ТЕЦ

Тема 2.3 Переваги та недоліки найбільш розповсюджених технологій

Тема 2.4 Особливості застосування ТЕЦ на біомасі в централізованому тепlopостачанні

Тема 2.5 ТЕЦ і ТЕС на біомасі- приклади впровадження в Україні

Тема 2.6 ТЕЦ і ТЕС на біомасі- приклади впровадження в інших країнах

Тема 2.7 Парові котли для реалізації проєктів ТЕЦ та ТЕС на біомасі

### **Розділ 3 Технологічні аспекти спалювання біомаси в енергетичних установках**

Тема 3.1 Фізико-хімічні основи спалювання біомаси

Тема 3.2 Двостадійне спалювання біомаси

Тема 3.3 Класифікація технологій спалювання біомаси

Тема 3.4 Особливості спалювання соломи

Тема 3.5 Основні переваги та недоліки технологій спалювання

Тема 3.6 Технологічні проблеми при спалюванні біомаси

Тема 3.7 Енергетична ефективність та регулювання котлів на біомасі

### **Розділ 4 Виробництво теплової та електричної енергії з біомаси в ЄС**

Тема 4.1 Статистика з розвитку ВДЕ в ЄС.

Тема 4.2 Виробництво електричної енергії з біомаси в ЄС.

Тема 4.3 Виробництво теплової енергії з біомаси в ЄС.

Тема 4.4 Успішні приклади виробництва теплової та електричної енергії з біомаси в ЄС.

Тема 4.5 Перспективи розвитку біоенергетики в ЄС.

### **Розділ 5 Сировина для виробництва біогазу**

Тема 5.1 Види та класифікація сировини для виробництва біогазу

Тема 5.2 Характеристики та властивості сировини, що впливають на виробництво біогазу

Тема 5.3 Методи оцінки потенціалу виробництва біогазу з окремих видів сировини

Тема 5.4 Методи та ефективність попередньої обробки сировини перед зброджуванням

Тема 5.5 Методи консервації та зберігання сезонних типів сировини

Тема 5.6 Екологічні та агротехнічні аспекти використання різних видів сировини

Тема 5.7 Статистика використання сировини для виробництва біогазу в Україні та в ЄС

### **Розділ 6 Методи і споруди для виробництва біогазу та біометану**

Тема 6.1 Теоретичні основи технології метанового бродіння

Тема 6.2 Види та особливості анаеробних ферментерів

Тема 6.3 Технологічні схеми станцій виробництва біогазу та біометану

Тема 6.4 Основи технологічного проектування біогазових установок. Матеріальні баланси

Тема 6.5 Параметри та контроль процесу. Інгібітори та активатори процесу

Тема 6.6 Методи та споруди попереднього очищення біогазу

Тема 6.7 Методи та споруди збагачення біогазу до біометану

## **Розділ 7 Використання основних та побічних продуктів технології виробництва біогазу**

Тема 7.1 Склад, фізичні та паливні характеристики біогазу та біометану

Тема 7.2 Виробництво електричної та теплової енергії з біогазу

Тема 7.3 Виробництво та використання стисненого та зрідженого біометану

Тема 7.4 Використання CO<sub>2</sub> від процесу збагачення біогазу до біометану

Тема 7.5 Методи обробки та використання дигестату

## **Розділ 8 Стан та перспективи розвитку технологій виробництва біогазу та біометану**

Тема 8.1 Потенціал та поточний рівень виробництва біогазу та біометану в Україні

Тема 8.2 Потенціал та поточний рівень виробництва біогазу та біометану в Європі

Тема 8.3 Інноваційні технології виробництва біогазу та біометану

Тема 8.4 Роль біогазу та біометану у пом'якшенні наслідків зміни клімату

Тема 8.5 Техніко-економічні показники роботи біогазових та біометанових станцій

### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

#### **Базова література**

1. Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи / Ін-т технічної теплофізики НАН України; за ред. Г. Гелетухи. — Київ: Академперіодика, 2022. — 373 с. <https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.464.373>
2. Рыжкин В. Я. Тепловые электрические станции : учебник для студ. вузов, обуч. по спец. «Тепловые электрические станции» / В. Я. Рыжкин ; под ред. В. Я. Гришфельда. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 328 с.
3. Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна, Ю.Б. Матвеев, П.П. Кучерук, В.Г. Крамар. ДОРОЖНЯ КАРТА РОЗВИТКУ БІОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ ДО 2050 РОКУ // Аналітична записка БАУ № 26, листопад 2020 р., 54 с. [https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/11/PP-UABIO-26\\_UA\\_26-11-2020.pdf](https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/11/PP-UABIO-26_UA_26-11-2020.pdf)
4. Георгій Гелетуха, Петро Кучерук, Юрій Матвеев ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА БІОМЕТАНУ В УКРАЇНІ // Аналітична записка БАУ № 29, вересень 2022 р., 60 с. <https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/09/UA-Position-paper-UABIO-29.pdf>
5. Томас Амон, Хартвик фон Бредов, и др. Руководство по биогазу: от получения до использования // Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2010. — 215 с. <https://mediathek.fnr.de/guide-to-biogas-from-production-to-use.html>

#### **Додаткові джерела**

1. P.P. Kucheruk, Y. B. Matveev, D.S. Komarchuk, S.A. Shvorov, V.E. Lukin, O.O. Opryshko, N.A. Pasichnyk, R.S. Rakhmedov EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE METHANE FERTILIZATION PROCESS: Monograph – Amazon Kindle, 2022. - 233 p., ISBN 978-82-693070-0-9. [https://www.amazon.com/EXPERIMENTAL-RESEARCH-METHANE-FERTILIZATION-PROCESS-ebook-dp-B0BHQNY2TG/dp/B0BHQNY2TG/ref=mt\\_other? encoding=UTF8&me=&qid](https://www.amazon.com/EXPERIMENTAL-RESEARCH-METHANE-FERTILIZATION-PROCESS-ebook-dp-B0BHQNY2TG/dp/B0BHQNY2TG/ref=mt_other? encoding=UTF8&me=&qid)
2. Промышленные тепловые электростанции : [Учебник для вузов по спец. "Пром. теплоэнергетика" / В.Н. Юренев, Б.В. Сазанов, М.И. Баженов, А.С. Богородский] ; Под общ. ред. Е.Я. Соколова. - 2-е изд., перераб. - Москва : Энергия, 1979. - 295 с.

3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 7-е изд., стереот. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.: ил.
4. Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies // U. S. Environmental Protection Agency, v.1.1, September 2007, 112 p. [https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/biomass\\_combined\\_heat\\_and\\_power\\_catalog\\_of\\_technologies\\_v.1.1.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/biomass_combined_heat_and_power_catalog_of_technologies_v.1.1.pdf)
5. Практичний посібник з використання біомаси у муніципальному секторі України (для представників державних та комунальних установ) Антоненко В'ячеслав, Зубенко Віталій, Олійник Євген, Радченко Світлана // Програма розвитку Організації Об'єднаних Націй. – К.: 2017, 62 с. <https://uabio.org/wp-content/uploads/2018/01/jkhfin.pdf>
6. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні Олійник Є.М., Антоненко В.О., Чаплигін С.М., Зубенко В.І. // Практичний посібник за ред. Г. Гелетухи. – К.: «Поліграф плюс», 2016, 104 с., <http://uabio.org/img/posibnyk-onovlenyi-2016.pdf>
7. Гелетуха Г., Крамар В., Епик О., Антощук Т., Тітков В. Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси/Comprehensive analysis of the Ukrainian biomass pellets market. Програма розвитку Організації Об'єднаних Націй, 2016. [https://uabio.org/wp-content/uploads/2016/11/kompleksnii\\_analiz\\_ukrayinskogo\\_rinku\\_pelet\\_z\\_biomasi.pdf](https://uabio.org/wp-content/uploads/2016/11/kompleksnii_analiz_ukrayinskogo_rinku_pelet_z_biomasi.pdf)
8. Георгій Гелетуха, Євген Олійник, В'ячеслав Антоненко, Сергій Чаплигін, Віталій Зубенко, Світлана Радченко Проведення комплексного дослідження ринку котлів, що працюють на біомасі в Україні // Програма розвитку Організації Об'єднаних Націй. – К.: 2016, 212 с. (дослідження в рамках проекту «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій у муніципальному секторі в Україні»), [https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/a\\_comprehensive\\_study\\_of\\_the\\_market\\_of\\_boilers\\_of\\_biomass\\_in\\_ukraine.pdf](https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/a_comprehensive_study_of_the_market_of_boilers_of_biomass_in_ukraine.pdf)
9. Г.Г. Гелетуха, Є.М. Олійник, В.О. Антоненко, В.О. Зубенко, С.В. Радченко Енергетичне використання агровідходів. Що варто знати про організаційні і технічні рішення // Аналітична записка БАУ № 24, вересень 2020 р., 49 с. [https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/09/Analitika\\_UABIO\\_energetychnе-vykorystannia\\_agrovidhodiv.pdf](https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/09/Analitika_UABIO_energetychnе-vykorystannia_agrovidhodiv.pdf)
10. Nazari, Laleh & Xu, Chunbao & Ray, Madhumita. (2021). Advanced and Emerging Technologies for Resource Recovery from Wastes. 10.1007/978-981-15-9267-6.
11. . Yin, Chungeng & Li, Shuangshuang. (2017). Advancing grate-firing for greater environmental impacts and efficiency for decentralized biomass/wastes combustion. Energy Procedia. 120. 373-379. 10.1016/j.egypro.2017.07.220.
12. . Mižáková, J.; Piteř, J.; Hořovský, A.; Pavlenko, I.; Ochowiak, M.; Khovanskyi, S. Biomass Combustion Control in Small and Medium-Scale Boilers Based on Low Cost Sensing the Trend of Carbon Monoxide Emissions. Processes 2021, 9, 2030. <https://doi.org/10.3390/pr9112030>.
13. Christer Heen Skotland. Measurement of temperature conditions in grate zone of a 1 MW wood-pellets boiler fired with high ash content wood-pellets.// Norwegian University of Science and Technology. Trondheim, 2009.
14. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника : справочник / [А. М. Бакластов, Б. Г. Борисов, В. М. Бродянский и др.] ; под общ. ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 587 с.
15. Irini Angelidaki, Lars Ellegaard, Anders Hay Sørensen and Jens Ejbye Schmidt (2002). The anaerobic process // Environment & Resources, The Technical University of Denmark, Building 115, 2800 Lyngby, Denmark. – 114 p.

16. Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Köttner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen (2008). Biogas handbook // University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark. – 126 p.

### Навчальний контент

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

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів з посиланням на літературу, завдання на самостійну роботу аспірантів (СРА))
1	<p><b>Використання твердої біомаси як палива на котельних</b> Вступ. План і зміст курсу.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основні напрямки енергетичного використання твердої біомаси</li> <li>2. Основні властивості твердої біомаси як палива, що впливають на її використання</li> <li>3. Підготовка біомаси до спалювання в енергетичних установках та контроль якості паливної сировини</li> </ol> <p><i>Література</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Thomas Nussbaumer. Combustion and Co-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction. Energy &amp; Fuels 2003 17 (6), 1510-1521 DOI: 10.1021/ef030031q.</li> <li>2. M. Kaltschmitt, H. Hartmann, H. Hofbauer (Hrsg.), Energie aus Biomasse, DOI 10.1007/978-3-662-47438-9_11.</li> </ol> <p><i>Завдання СРА:</i> Вплив вологості та хімічного складу на теплоту згоряння біомаси</p>
2	<p><b>Використання твердої біомаси як палива на котельних</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Використання твердої біомаси в автономному та централізованому тепlopостачанні</li> <li>2. Теплові акумулятори та теплоутилізатори</li> <li>3. Використання твердої біомаси в промисловості та сільському господарстві</li> <li>4. Приклади впроваджених проєктів енергетичного використання твердої біомаси</li> </ol> <p><i>Література</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jenkins, Bryan &amp; Baxter, Larry &amp; Koppejan, Jaap. (2011). Biomass Combustion. 10.1002/9781119990840.ch2.</li> <li>2. John Vos. Biomass Energy for Heating and Hot Water Supply in Belarus. Best Practice Guidelines. Part A: Biomass Combustion. UNDP/GEF.</li> <li>3. Краці з доступних технологій для житлово-комунального господарства України // Керівництво з відбору технологій/Під редакцією С. Єрмілова. – К.: «Поліграф плюс», 2016. – 134 с.: іл.</li> </ol> <p><i>Завдання СРА:</i> Застосування утилізаторів теплоти продуктів згоряння</p>
3	<p><b>Використання твердої біомаси як палива на ТЕЦ і ТЕС</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основні технології виробництва електричної енергії з використанням твердої біомаси</li> <li>2. Основні типи базових енергоустановок для ТЕЦ</li> <li>3. Переваги та недоліки найбільш розповсюджених технологій</li> </ol> <p><i>Література</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Van Loo, S. and J. Koppejan, The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing. 2008: Earthscan.</li> <li>2. Koppejan, J., &amp; van Loo, S. (Eds.). (2007). The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing (1st ed.). Routledge. <a href="https://doi.org/10.4324/9781849773041">https://doi.org/10.4324/9781849773041</a></li> </ol> <p><i>Завдання СРА:</i></p>

	Співвідношення відпуску теплової та електричної енергії ТЕЦ на біомасі
4	<p><b>Використання твердої біомаси як палива на ТЕЦ і ТЕС</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Особливості застосування ТЕЦ на біомасі в централізованому тепlopостачанні</li> <li>2. ТЕЦ і ТЕС на біомасі- приклади впровадження в Україні</li> <li>3. ТЕЦ і ТЕС на біомасі- приклади впровадження в інших країнах</li> <li>4. Парові котли для реалізації проєктів ТЕЦ та ТЕС на біомасі</li> </ol> <p><i>Література</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Obernberger, I 2010</i>. The present state and future development of industrial biomass combustion for heat and power generation (keynote lecture). in Proc. of the ASME-AIT-UIT 2010 Conference on Thermal and Environmental Issues in Energy Systems. ., Pisa, pp. 9-25, ASME-AIT-UIT 2010 Conference on Thermal and Environmental Issues in Energy Systems, Sorrento, Italy, 16/05/10.</li> <li>2. <i>Torben Skøtt, BioPress</i>. Производство энергии из соломы. Положение, технологии и инновации в Дании/ Agro Business Park A/S, Niels Pedersens Allé 2, 8830 Tjele, <a href="http://www.agropark.dk">www.agropark.dk</a>.</li> <li>3. Fouad Al-Mansour, Jaroslaw Zuwała, An evaluation of biomass co-firing in Europe, Biomass and Bioenergy, Volume 34, Issue 5, 2010, Pages 620-629, ISSN 0961-9534, <a href="https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.01.004">https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.01.004</a>.</li> </ol> <p><i>Завдання СРА:</i> ТЕЦ на основі газифікації біомаси</p>
5	<p><b>Технологічні аспекти спалювання біомаси в енергетичних установках</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Фізико-хімічні основи спалювання біомаси</li> <li>2. Двостадійне спалювання біомаси</li> <li>3. Класифікація технологій спалювання біомаси</li> <li>4. Особливості спалювання соломи</li> </ol> <p><i>Література</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Hupa, Mikko &amp; Karlström, Oskar &amp; Vainio, Emil. (2015)</i>. Biomass combustion technology development - It is all about chemical details. Proc Combust Inst. 36. 10.1016/j.proci.2016.06.152.</li> <li>2. <i>Tariq, A.S., Reupke, P. and Sarwar, G. (1994)</i> Biomass combustion systems. A guide for monitoring and efficient operation. Biomass Combustion Systems (2). Natural Resources Institute, Chatham, UK. ISBN 0-85954-385-4.</li> </ol> <p><i>Завдання СРА:</i> Етапи горіння біомаси та конструкції котлів</p>
6	<p><b>Технологічні аспекти спалювання біомаси в енергетичних установках</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основні переваги та недоліки технологій спалювання</li> <li>2. Технологічні проблеми при спалюванні біомаси</li> <li>3. Енергетична ефективність та регулювання котлів на біомасі</li> </ol> <p><i>Література</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Kavalov B, Peteves S</i>. Bioheat Applications in the European Union. An Analysis and Perspective for 2010. EUR 21401 EN. OPOCE; 2004. JRC2911.</li> <li>2. Biomass Combustion Science, Technology and Engineering ([edition unavailable]). Elsevier Science. Retrieved from <a href="https://www.perlego.com/book/1832789/biomass-combustion-science-technology-and-engineering-pdf">https://www.perlego.com/book/1832789/biomass-combustion-science-technology-and-engineering-pdf</a> (Original work published 2013)</li> </ol> <p><i>Завдання СРА:</i> Методи запобігання проблемам при спалюванні біомаси</p>
7	<p><b>Виробництво теплової та електричної енергії з біомаси в ЄС</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Статистика з розвитку ВДЕ в ЄС.</li> <li>2. Виробництво електричної енергії з біомаси в ЄС.</li> <li>3. Виробництво теплової енергії з біомаси в ЄС.</li> </ol> <p><i>Література та додаткові джерела даних</i></p>



	<p><a href="https://bioenergyeurope.org/articles/366-bioelectricity-2022.html">https://bioenergyeurope.org/articles/366-bioelectricity-2022.html</a>  <a href="https://bioenergyeurope.org/article/429-bioheat-4.html">https://bioenergyeurope.org/article/429-bioheat-4.html</a></p> <p><i>Завдання CPA:</i>  Концепція «smart energy» в централізованому тепlopостачанні</p>
8	<p><b>Виробництво теплової та електричної енергії з біомаси в ЄС</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Успішні приклади виробництва теплової та електричної енергії з біомаси в ЄС.</li> <li>2. Перспективи розвитку біоенергетики в ЄС.</li> </ol> <p><i>Література та додаткові джерела даних</i>  <a href="https://clever-energy-scenario.eu/#launch-event">https://clever-energy-scenario.eu/#launch-event</a>  <a href="https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023">https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023</a></p> <p><i>Завдання CPA:</i>  Внесок біоенергетики у боротьбу зі зміною клімату</p>
9	<p><b>Сировина для виробництва біогазу</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Види та класифікація сировини для виробництва біогазу</li> <li>2. Характеристики та властивості сировини, що впливають на виробництво біогазу</li> <li>3. Методи оцінки потенціалу виробництва біогазу з окремих видів сировини</li> </ol> <p><i>Література та додаткові джерела даних</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Томас Амон, Хартвик фон Бредов, и др. Руководство по биогазу: от получения до использования // Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2010. – 215 с. <a href="https://mediathek.fnr.de/guide-to-biogas-from-production-to-use.html">https://mediathek.fnr.de/guide-to-biogas-from-production-to-use.html</a></li> <li>2. Geletukha, G., Kucheruk, P., Matveev, Y. (2022). Prospects and Potential for Biomethane Production in Ukraine. Ecological Engineering &amp; Environmental Technology, 23(4), 67-80. <a href="https://doi.org/10.12912/27197050/149995">https://doi.org/10.12912/27197050/149995</a></li> <li>3. P.P. Kucheruk, Y. B. Matveev, D.S. Komarchuk, S.A. Shvorov, V.E. Lukin, O.O. Opryshko, N.A. Pasichnyk, R.S. Rakhmedov EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE METHANE FERTILIZATION PROCESS: Monograph – Amazon Kindle, 2022. - 233 p., ISBN 978-82-693070-0-9. <a href="https://www.amazon.com/EXPERIMENTAL-RESEARCH-METHANE-FERTILIZATION-PROCESS-ebook-dp-BOBHQNY2TG/dp/BOBHQNY2TG/ref=mt_other?encoding=UTF8&amp;me=&amp;qid">https://www.amazon.com/EXPERIMENTAL-RESEARCH-METHANE-FERTILIZATION-PROCESS-ebook-dp-BOBHQNY2TG/dp/BOBHQNY2TG/ref=mt_other?encoding=UTF8&amp;me=&amp;qid</a></li> <li>4. Значення батч-тестів для аналізу потенціалу. Порівняння методів та проблеми оцінки субстрату та ефективності біогазових установок  <a href="https://task37.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/32/2022/02/Batch_tests_web_END.pdf">https://task37.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/32/2022/02/Batch_tests_web_END.pdf</a></li> </ol> <p><i>Завдання CPA:</i>  Методичні підходи до оцінки потенціалу виробництва біогазу</p>
10	<p><b>Сировина для виробництва біогазу</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Методи та ефективність попередньої обробки сировини перед зброджуванням</li> <li>2. Методи консервації та зберігання сезонних типів сировини</li> <li>3. Екологічні та агротехнічні аспекти використання різних видів сировини</li> <li>4. Статистика використання сировини для виробництва біогазу в Україні та в ЄС</li> </ol> <p><i>Література та додаткові джерела даних</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Giuntoli J, Agostini A, Edwards R, Marelli L, Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions. Calculated according to the methodology set in COM(2016) 767, EUR 27215 EN, doi:10.2790/27486.</li> <li>2. <a href="https://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/pretreatment_web.pdf">https://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/pretreatment_web.pdf</a></li> </ol> <p><i>Завдання CPA:</i>  Вплив різних методів попередньої обробки сировини на вихід CH<sub>4</sub></p>
11	<p><b>Методи і споруди для виробництва біогазу та біометану</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Теоретичні основи технології метанового бродіння</li> <li>2. Види та особливості анаеробних ферментерів</li> </ol>

	<p>3. Технологічні схеми станцій виробництва біогазу та біометану <i>Література та додаткові джерела даних</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Томас Амон, Хартвик фон Бредов, и др. Руководство по биогазу: от получения до использования // Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2010. – 215 с. <a href="https://mediathek.fnr.de/guide-to-biogas-from-production-to-use.html">https://mediathek.fnr.de/guide-to-biogas-from-production-to-use.html</a></li> <li>2. <a href="https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20130402151656/http://archive.dfra.gov.uk/environment/waste/residual/newtech/documents/mbt.pdf">https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20130402151656/http://archive.dfra.gov.uk/environment/waste/residual/newtech/documents/mbt.pdf</a></li> </ol> <p><i>Завдання CPA:</i> Механіко-біологічна обробка ТПВ з виробництвом біогазу</p>
12	<p><b>Методи і споруди для виробництва біогазу та біометану</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основи технологічного проектування біогазових установок. Матеріальні баланси</li> <li>2. Параметри та контроль процесу. Інгібітори та активатори процесу</li> <li>3. Методи та споруди попереднього очищення біогазу</li> <li>4. Методи та споруди збагачення біогазу до біометану</li> </ol> <p><i>Література та додаткові джерела даних</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Irini Angelidaki, Lars Ellegaard, Anders Hay Sørensen and Jens Ejbye Schmidt (2002). The anaerobic process // Environment &amp; Resources, The Technical University of Denmark, Building 115, 2800 Lyngby, Denmark. – 114 p.</li> <li>2. Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Köttner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen (2008). Biogas handbook // University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark. – 126 p.</li> <li>3. Bauer, F., Hulteberg, C., Persson, T., &amp; Tamm, D. (2013). Biogas upgrading - Review of commercial technologies. (SGC Rapport; Vol. 270). Svenskt Gastekniskt Center AB. <a href="http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/SGC270.pdf">http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/SGC270.pdf</a></li> <li>4. Atelge, Rasit &amp; Senol, Halil, et al. A Critical Overview of the State-of-the-Art Methods for Biogas Purification and Utilization Processes. Sustainability 2021, 13, 11515. <a href="https://doi.org/10.3390/su132011515">https://doi.org/10.3390/su132011515</a>.</li> <li>5. Angelidaki, Irini &amp; Xie, Li &amp; Luo, Gang, et.al (2019). Biogas Upgrading: Current and Emerging Technologies. DOI:10.1016/B978-0-12-816856-1.00033-6.</li> </ol> <p><i>Завдання CPA:</i> Методи стабілізації та оптимізації технологічного процесу виробництва біогазу</p>
13	<p><b>Використання основних та побічних продуктів технології виробництва біогазу</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Склад, фізичні та паливні характеристики біогазу та біометану</li> <li>2. Виробництво електричної та теплової енергії з біогазу</li> <li>3. Виробництво та використання стисненого та зрідженого біометану</li> </ol> <p><i>Література та додаткові джерела даних</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Köttner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen (2008). Biogas handbook // University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark. – 126 p.</li> <li>2. Catalog of CHP Technologies. U.S. EPA Combined Heat and Power Partnership. September 2017. <a href="http://www.epa.gov/">www.epa.gov/</a></li> <li>3. Sustainable Heat Use of Biogas Plants. A Handbook 2nd edition. 2015 by WIP Renewable Energies, Munich, Germany <a href="http://www.biogasheat.org">www.biogasheat.org</a></li> <li>4. Ammenberg J., Gustafsson, M., O’Shea, R., Gray, N., Lyng, K-A., Eklund, M. and Murphy, J.D. (2021). Perspectives on biomethane as a transport fuel within a circular economy, energy, and environmental system. Ammenberg, J; Murphy, J.D. (Ed.) IEA Bioenergy Task 37, 2021:12.</li> </ol> <p><i>Завдання CPA:</i> Транспортування та зберігання зрідженого біометану. Заправні станції CNG/LNG</p>
14	<p><b>Використання основних та побічних продуктів технології виробництва біогазу</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Використання CO<sub>2</sub> від процесу збагачення біогазу до біометану</li> <li>2. Методи обробки та використання дигестату</li> </ol>

	<p><i>Література та додаткові джерела даних</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. EBA (European Biogas Association) (2022). Biogenic CO<sub>2</sub> from the biogas industry. Report. <a href="https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/10/Biogenic-CO2-from-the-biogas-industry_Sept2022-1.pdf">https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/10/Biogenic-CO2-from-the-biogas-industry_Sept2022-1.pdf</a></li> <li>2. David Wilken, Stefan Rauh, Ramona Fruhner-Weiß, et al. Digestate as fertilizer // Fachverband Biogas e. V. – 64 p.</li> <li>3. Utilization of digestate from biogas plants as biofertilizer (IEA Bioenergy) Clare T. LUKEHURST, Peter FROST, Teodorita AL SEADI, 2010 <a href="https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2010/06/Digestate_Brochure_Revised_12-2010.pdf">https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2010/06/Digestate_Brochure_Revised_12-2010.pdf</a></li> </ol> <p><i>Завдання СРА:</i> Технології зрідження CO<sub>2</sub></p>
15	<p><b>Стан та перспективи розвитку технологій виробництва біогазу та біометану</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Потенціал та поточний рівень виробництва біогазу та біометану в Україні</li> <li>2. Потенціал та поточний рівень виробництва біогазу та біометану в Європі</li> <li>3. Інноваційні технології виробництва біогазу та біометану</li> </ol> <p><i>Література та додаткові джерела даних</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Георгій Гелету́ха, Петро Кучерук, Юрій Матвеев ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА БІОМЕТАНУ В УКРАЇНІ // Аналітична записка БАУ № 29, вересень 2022 р., 60 с. <a href="https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/09/UA-Position-paper-UABIO-29.pdf">https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/09/UA-Position-paper-UABIO-29.pdf</a></li> <li>2. Sacha Alberici, Wouter Grimme and Gemma Toop (2022) Biomethane production potentials in the EU. Feasibility of REPowerEU 2030 targets, production potentials in the Member States and outlook to 2050 // Guidehouse Netherlands B.V. – 35 p.</li> <li>3. Потенціал виробництва біометану в ЄС. Здійсненність цілей REPowerEU 2030, потенціал виробництва в державах-членах і перспективи до 2050 року <a href="https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/07/GfC_national-biomethane-potentials_070722.pdf">https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/07/GfC_national-biomethane-potentials_070722.pdf</a></li> <li>4. EBA Статистичний звіт 2022 <a href="https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/12/EBA-Statistical-Report-2022_Short-version.pdf">https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/12/EBA-Statistical-Report-2022_Short-version.pdf</a></li> <li>5. Market state and trends in renewables and low-carbon gases in Europe. A Gas for Climate report. December 2021</li> <li>6. Klimenko, V., &amp; Suprun, T. (2022). Технології метанації для отримання синтетичного відновлюваного метану. Теплофізика та Теплоенергетика, 46(3), 63-72. <a href="https://doi.org/https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2022.6">https://doi.org/https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2022.6</a></li> </ol> <p><i>Завдання СРА:</i> Технології P-t-L</p>
16	<p><b>Стан та перспективи розвитку технологій виробництва біогазу та біометану</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Роль біогазу та біометану у пом'якшенні наслідків зміни клімату</li> <li>2. Техніко-економічні показники роботи біогазових та біометанових станцій</li> </ol> <p><i>Література та додаткові джерела даних</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions (JRC, 2017). <a href="https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC104759">https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC104759</a></li> <li>2. ERA-NET Bioenergy, DBFZ, Evaluation and reduction of methane emissions from different European biogas plant concepts – EvEmBi, ERA-NET Bioenergy Thematic Online Seminar, October 2022. <a href="https://eranetbioenergy.net/wp-content/uploads/2022/01/ERA-NET_Bioenergy_18012022_Highlights_EvEmBi_Wechselbe">https://eranetbioenergy.net/wp-content/uploads/2022/01/ERA-NET_Bioenergy_18012022_Highlights_EvEmBi_Wechselbe</a></li> <li>3. Guidance for feasibility analysis covering biomethane investment projects. <a href="https://www.regatrace.eu/work-packages/wp6-support-for-biomethane-market-uptake/">https://www.regatrace.eu/work-packages/wp6-support-for-biomethane-market-uptake/</a></li> </ol>

	<p>4. Beyond energy – monetising biomethane's whole-system benefits  <a href="https://www.europeanbiogas.eu/beyond-energy-monetising-biomethanes-whole-system-benefits/">https://www.europeanbiogas.eu/beyond-energy-monetising-biomethanes-whole-system-benefits/</a></p> <p>5. Geographical analysis of biomethane potential and costs in Europe in 2050.  <a href="https://www.engie.com/sites/default/files/assets/documents/2021-07/ENGIE_20210618_Biogas_potential_and_costs_in_2050_report_1.pdf">https://www.engie.com/sites/default/files/assets/documents/2021-07/ENGIE_20210618_Biogas_potential_and_costs_in_2050_report_1.pdf</a></p> <p><i>Завдання CPA:</i>  Економічні аспекти виробництва та використання стисненого та зрідженого біометану на транспорті</p>
--	---

### Теми практичних занять (теми семінарів)

1. Паливні властивості біомаси, методи її підготовки до спалювання.
2. Вплив зміни вологості палива на ККД та потужність
3. Утилізація високотемпературної теплоти димових газів.
4. Варіанти впровадження ТЕЦ на біомасі - турбіна з протитиском, чи конденсаційна з відбором пари?
5. Техніко-економічна оцінка виробництва теплової та електричної енергії з біомаси
6. Оцінка питомого виходу біогазу з сировини
7. Визначення оптимального складу суміші різних видів сировини для виробництва біогазу
8. Розрахунок тривалості процесу зброджування в CSTR реакторах
9. Складання матеріальних балансів «сировина-продукти» у процесах виробництва біогазу та біометану
10. Приклади розрахунку економічних показників проекту виробництва біометану

### 6. Самостійна робота аспіранта

На самостійну роботу відводяться наступні види завдань:

- обробка і осмислення інформації, отриманої безпосередньо на заняттях;
- робота з літературними джерелами та з сучасними бібліографічними і реферативними базами даних, а також наукометричними платформами (наприклад, Scopus, Web of Science, Index Copernicus, Web of Knowledge, PubMed, Mathematics, Springer, Agris, GeoRef та ін.).
- підготовка до складання екзамену.

## Політика та контроль

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

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- відвідування лекцій та семінарських занять (за об'єктивних причин навчання може відбуватись в онлайн-форматі за погодженням із керівником курсу);
- активність на семінарських та лекційних заняттях, регулярна самостійна робота;
- дотримання стандартів академічної доброчесності;

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

*Поточний контроль:* експрес-опитування, опитування за темою заняття. Максимальна кількість балів – 20.

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

*Умови допуску до семестрового контролю:* мінімально позитивна оцінка за індивідуальне завдання. Семестровий рейтинг від 30 балів.

*Семестровий контроль:* екзамен – від 30 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за шкалою:

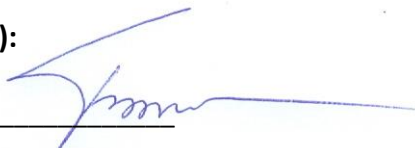
<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

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

немає

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

Складено зав. відділу, д.т.н., с.н.с., Гелетухою Г.Г. \_\_\_\_\_



Ухвалено Вченою радою ІТТФ НАН України (протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_)