

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



**СИЛАБУС ВИБІРКОВОГО ОСВІТНЬОГО КОМПОНЕНТУ  
«ГАЗОВІ КРІОГЕННІ МАШИНИ»**

Мова навчання – *українська*

Шифр та найменування галузі знань **14 «Електрична інженерія»**

Код та найменування спеціальності **142 «Енергетичне машинобудування»**

Освітньо-професійна програма ***Кріогенні технології виробництва, зрідження  
і транспортування природних газів***

Ступінь вищої освіти ***магістр***

Затверджено на засіданні

Методичної Ради зі спеціальності **142 «Енергетичне машинобудування»**  
**«07» вересня 2023 р. протокол № 2.**

Реєстраційний номер в навчальному відділі НЦООП

## 1. Загальна інформація

**Кафедра:** [Кріогенної техніки](#)  
**Викладач:** [Симоненко Юрій Михайлович](#), завідувач  
кафедри кріогенної техніки, доктор технічних  
наук, професор



**Контакти:**  
[ysimonenko@cryoin.com](mailto:ysimonenko@cryoin.com),  
048-720-91-21

**Профайл**

Освітній компонент «Газові кріогенні машини» викладається на першому курсі у другому семестрі для денної та заочної форм навчання

**Кількість: кредитів - 3, годин – 90**

| Аудиторні заняття, годин: | всього     | лекції | лабораторні | практичні |
|---------------------------|------------|--------|-------------|-----------|
| денна                     | 30         | 10     | 10          | 10        |
| заочна                    | 10         | 4      | 2           | 4         |
| Самостійна робота, годин  | Денна – 60 |        | Заочна – 80 |           |

### [Розклад занять](#)

## 2. Анотація освітнього компоненту

Освітній компонент «Газові кріогенні машини» спрямований на здобуття здобувачами вищої освіти знань про основи і особливості технологій зрідження природного газу. Основним завданням викладання освітнього компоненту є набуття навиків самостійного обґрунтування інженерних рішень, що необхідно спеціалісту для постановки задач, для правильного формулювання даних та інтерпретації одержаних результатів, при прийнятті рішення про використання тих чи інших компонентів математичного забезпечення в процесі автоматизованого проектування

Освітній компонент «Газові кріогенні машини» базується на знаннях, отриманих здобувачем вищої освіти в результаті вивчення освітніх компонент «Технічна термодинаміка», «Тепломасообмін», «Гідрогазодинаміка», «Кріогенні технології», «Вакуумна техніка», «Кріогенна техніка», та ін.

## 3. Мета освітнього компоненту

Метою викладання освітнього компоненту «Газові кріогенні машини» є формування у майбутнього магістра сукупності знань, навичок і умінь у галузі проектування сучасного обладнання для технологій зрідження природного газу у різних галузях промисловості

## 4. Компетентності та програмні результати навчання

У результаті вивчення освітнього компоненту «Газові кріогенні машини» здобувач вищої освіти отримує наступні програмні компетентності та програмні результати навчання, які визначені в [Стандарті вищої освіти зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»](#) та освітньо-професійній програмі [«Кріогенні технології виробництва, зрідження і транспортування природних газів»](#) підготовки магістрів.

### Інтегральна компетентність

Здатність розв'язувати задачі дослідницького та/або інноваційного характеру у галузі енергетичного машинобудування

### Спеціальні (фахові, предметні) компетентності:

**СК 7.** Здатність приймати ефективні рішення з виробництва і експлуатації енергетичного та теплотехнологічного обладнання з урахуванням вимог щодо якості, екологічності, надійності, конкурентноздатності та охорони праці.

**СК 9\*.** Здатність демонструвати та застосовувати передові знання в енергетичному машинобудуванні та засобах криогенної техніки і транспортування зріджених природних газів та перспектив їх розвитку.

**СК 10\*.** Здатність проводити аналіз конкурентних розробок та здійснювати техніко-економічне обґрунтування, організувати та виконувати наукові дослідження, пов'язані з впровадженням інноваційних проектів в галузі криогенних технологій виробництва і зрідження природних газів

**СК 11\*.** Здатність готувати науково-технічні публікації та звіти за результатами виконаних досліджень в галузі криогенних технологій виробництва і зрідження природних газів

### Програмні результати навчання:

**РН 6.** Використовувати методи моделювання, а також методи експериментальних досліджень з метою детального вивчення тепло- і масообмінних, гідравлічних та інших процесів, які відбуваються в технологічному обладнанні та об'єктах енергетичного машинобудування.

**РН 7.** Приймати ефективні рішення з інженерних та управлінських питань у галузі енергетичного машинобудування в складних і непередбачуваних умовах, у тому числі із застосуванням сучасних методів та засобів оптимізації, прогнозування та прийняття рішень.

**РН 14\*.** Впроваджувати інноваційні проекти у галузі криогенних технологій здобування і зрідження природних газів

## 5. Інформаційний обсяг освітнього компоненту

### 5.1 Перелік лекційних завдань

| Тема                                           | Зміст теми                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Кількість годин |        |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------|
|                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | денна           | заочна |
| Змістовний модуль 1. Дросельні кріогенні цикли |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                 |        |
| 1                                              | Вступ. Історія зрідження кисню. Установки Пікте та Кальєте. Установа Ольшевського та Вроблевського для зрідження кисню. Простий дросельний цикл для зрідження кріогенних речовин. Температура інверсії. Коефіцієнт зрідження. Енергетичні та ексергетичні показники циклу. Установа Хемпсона.                                                                                                                                                                                       | 2               | 2      |
| 2                                              | Врахування теплових надходжень при роботі простого дросельного циклу. Цикл з попереднім охолодженням прямого потоку. Розрахунок витрати холоду на попереднє охолодження. Термодинамічний підхід до попереднього охолодження. Історія зрідження водню та гелію. Установа Дьюара. Сосуди Дьюара. Гелій у природі та джерела отримання гелію. Установа Каммерлінг-Оннеса для зрідження гелію. Відкриття надпровідності та надтекучості.                                                | 2               | -      |
| 3                                              | Методи розрахунку дросельних циклів. Розрахунок витрати енергії на отримання 1 літру кріогенної речовини. Розрахунок витрати холоду або кріогенної речовини на попереднє охолодження. Розрахунок рефрижераторних циклів. Розподіл повітря методом ректифікації. Принцип роботи ректифікаційної колони. Колонна двукратної ректифікації, особливості роботи та застосування. Найпростіша установа для розподілу повітря з колоною двукратної ректифікації. Отримання інертних газів. | 2               | -      |

| Змістовний модуль 2. Детандерні кріогенні цикли |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |           |          |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|
| 4                                               | Детандерні цикли. Установка Жоржа Клода для зрідження повітря. Детандерний цикл Клода. Методи розрахунку температури газу, який виходить з детандеру. Конструкція детандера Гейландта. Детандерний цикл Гейландта для зрідження повітря. Особливості розрахунку циклу. Цикл низького тиску (цикл Капіці). Конструкція турбодетандеру Капіці. Особливості установок низького тиску (регенеративні теплообмінники та інше). Особливості розрахунку циклу Капіці. | 2         | 2        |
| 5                                               | Цикл Капіці для зрідження гелію. Конструкція детандеру Капіці. Особливості роботи установок для зрідження гелію у рефрижераторному режимі та у режимі зрідження. Розрахунок циклу Капіці для зрідження Гелію.<br>Цикл Колінза для зрідження гелію. Конструкція детандеру Колінза. Особливості розрахунку циклу Колінза. Установка Сімона для отримання рідкого гелію.<br>Сучасні схеми зріджувачів гелію. Кріогенне забезпечення надпровідних пристроїв.       | 2         | -        |
| <b>Разом за ОК:</b>                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>10</b> | <b>4</b> |

## 5.2 Перелік лабораторних робіт

| № з/п                | Назва практичної роботи                                                                     | Кількість годин |          |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|
|                      |                                                                                             | денна           | заочна   |
| 1                    | Установка Дьюара. Сосуди Дьюара. Гелій у природі та джерела отримання гелію.                | 2               | 2        |
| 2                    | Відкриття надпровідності та надтекучості. Термодинамічні втрати простого дросельного циклу. | 2               | -        |
| 3                    | Колона двукратної ректифікації, особливості роботи та застосування.                         | 2               | -        |
| 4                    | Особливості установок низького тиску (регенеративні теплообмінники та інше).                | 2               | -        |
| 5                    | Сучасні схеми зріджувачів гелію. Кріогенне забезпечення надпровідних пристроїв.             | 2               | -        |
| <b>Всього за ОК:</b> |                                                                                             | <b>10</b>       | <b>2</b> |

## 5.3 Перелік практичних робіт

| № з/п                | Назва практичної роботи                                                                                                                              | Кількість годин |          |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|
|                      |                                                                                                                                                      | денна           | заочна   |
| 1                    | Простий дросельний цикл для зрідження кріогенних речовин..                                                                                           | 2               | 2        |
| 2                    | Температура інверсії. Коефіцієнт зрідження. Енергетичні та ексергетичні показники циклу.                                                             | 2               | -        |
| 3                    | Установка Хемпсона. Цикл двох тисків. Цикл Кеєзона. Цикл Кліменко.                                                                                   | 2               | -        |
| 4                    | Установка Жоржа Клода для зрідження повітря. Детандерний цикл Клода. Детандерний цикл Гейландта для зрідження повітря. Особливості розрахунку циклу. | 2               | 2        |
| 5                    | Цикл Капіці для зрідження гелію. Конструкція детандеру Капіці.                                                                                       | 2               | -        |
| <b>Всього за ОК:</b> |                                                                                                                                                      | <b>10</b>       | <b>4</b> |

## 5.4 Перелік завдань до самостійної роботи

| № з/п                | Назва теми                                                                                                        | Кількість годин |           |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|
|                      |                                                                                                                   | денна           | заочна    |
| 1                    | Установки Пікте та Кальєте                                                                                        | 10              | 12        |
| 2                    | Установка Дьюара. Сосуди Дьюара.                                                                                  | 10              | 14        |
| 3                    | Відкриття надпровідності та надтекучості.                                                                         | 10              | 14        |
| 4                    | Цикл Колінза для зрідження гелію. Конструкція детандеру Колінза.                                                  | 10              | 12        |
| 5                    | Особливості установок низького тиску (регенеративні теплообмінники та інше). Особливості розрахунку циклу Капіци. | 10              | 14        |
| 6                    | Температура інверсії. Коефіцієнт зрідження.                                                                       | 10              | 14        |
| <b>Всього за ОК:</b> |                                                                                                                   | <b>60</b>       | <b>80</b> |

## 6. Система оцінювання та вимоги

Контроль успішності навчання здобувача проводиться у формах вхідного, поточного і підсумкового контролів.

Вхідний контроль якості навчання здійснюється на початку курсу проведенням перевірки залишкових знань здобувачів за ОК, що забезпечують вивчення даного освітнього компоненту (діагностика первинних знань здобувачів).

Формами поточного контролю є:

- письмові контрольні роботи за окремими темами або модульні контрольні роботи;
- тестування знань здобувачів з певних тем або з певних окремих питань ОК;
- виконання і захист практичних/лабораторних робіт;
- усне опитування;
- тощо.

Підсумковий контроль – **диференційований залік.**

### Нарахування балів:

| Вид роботи, що підлягає контролю                       | Максимальна кількість оціночних балів |              |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
|                                                        | денна                                 | заочна       |
| <b>Змістовний модуль 1. Дросельні кріогенні цикли</b>  |                                       |              |
| Лекційний курс*                                        | 5                                     | 5            |
| Практичні роботи*                                      | 12                                    | 12           |
| Лабораторні роботи*                                    | 13                                    | 13           |
| Самостійна робота*                                     | 5                                     | 5            |
| Тестування*                                            | 15                                    | 15           |
| Всього за змістовний модуль 1                          | <b>50</b>                             | <b>50</b>    |
| <b>Змістовний модуль 2. Детандерні кріогенні цикли</b> |                                       |              |
| Лекційний курс*                                        | 5                                     | 5            |
| Практичні роботи*                                      | 13                                    | 13           |
| Лабораторні роботи*                                    | 12                                    | 12           |
| Самостійна робота *                                    | 5                                     | 5            |
| Тестування*                                            | 15                                    | 15           |
| Всього за змістовний модуль 2                          | <b>50</b>                             | <b>50</b>    |
| Всього                                                 | <b>100,0</b>                          | <b>100,0</b> |

\*Є можливість визнання результатів неформальної освіти відповідно до п.2 [Положення про порядок перезарахування результатів навчання \(навчальних дисциплін\) в Одеському національному технологічному університеті](#).

**Критерії оцінювання програмних результатів навчання здобувачів**  
**Підсумковий контроль – диференційований залік**

**Лекційний курс**

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |              |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 8 - 10 балів  | Здобувач бездоганно засвоїв теоретичний матеріал, демонструє глибокі і всебічні знання відповідної теми або навчальної дисципліни, основні положення наукових першоджерел та рекомендованої літератури, логічно мислить і будує відповідь, вільно використовує набуті теоретичні знання при аналізі практичного матеріалу, висловлює своє ставлення до тих чи інших проблем, демонструє високий | відмінно     |
| 5 – 7,9 балів | Здобувач добре засвоїв теоретичний матеріал, володіє основними аспектами з першоджерел та рекомендованої літератури, аргументовано викладає його; має практичні навички, висловлює свої міркування з приводу тих чи інших проблем, але припускається певних неточностей і похибок у логіці викладу теоретичного змісту                                                                          | добре        |
| 2 – 4,9 балів | Здобувач в основному опанував теоретичними знаннями навчальної теми або дисципліни, орієнтується в першоджерелах та рекомендованій літературі, але непереконливо відповідає, плутає поняття, додаткові питання викликають у студента невпевненість або відсутність стабільних знань                                                                                                             | достатньо    |
| 0-2 балів     | Здобувач не опанував навчальний матеріал теми (дисципліни), не знає наукових фактів, визначень, майже не орієнтується в першоджерелах та рекомендованій літературі, відсутні наукове мислення                                                                                                                                                                                                   | незадовільно |

**Лабораторні роботи (оцінювання однієї роботи)**

| Денна           | Заочна            |                                                                                          |              |
|-----------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 4,5 - 5 балів   | 19,5 – 25,0 балів | Лабораторна робота відпрацьована та вчасно захищена, надані повні обґрунтовані відповіді | відмінно     |
| 4,0 - 4,4 балів | 14,0 - 19,4 балів | Лабораторна робота відпрацьована та вчасно захищена, при відповіді допущені неточності   | дуже добре   |
| 3,5 – 3,9 балів | 10,5 – 13,9 балів | Лабораторна робота відпрацьована, відповіді неповні, допущені помилки                    | добре        |
| 2,1 – 3,4 балів | 5,1 – 10,4 балів  | Лабораторна робота відпрацьована, відповіді незадовільні, допущені грубі помилки         | достатньо    |
| 0-2 балів       | 0-5 балів         | Лабораторна робота не відпрацьована або дані незадовільні відповіді                      | незадовільно |

**Практичні роботи (оцінювання однієї роботи)**

| Денна           | Заочна           |                                                                                        |            |
|-----------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4,5 - 5 балів   | 9,5 – 12,5 балів | Практична робота відпрацьована та вчасно захищена, надані повні обґрунтовані відповіді | відмінно   |
| 4,0 - 4,4 балів | 7,0 - 9,4 балів  | Практична робота відпрацьована та вчасно захищена, при відповіді допущені неточності   | дуже добре |
| 3,5 – 3,9 балів | 4,5 – 6,9 балів  | Практична робота відпрацьована, відповіді неповні, допущені помилки                    | добре      |

|                 |                 |                                                                                |              |
|-----------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 2,1 – 3,4 балів | 2,1 – 4,4 балів | Практична робота відпрацьована, відповіді незадовільні, допущені грубі помилки | достатньо    |
| 0-2 балів       | 0-2 балів       | Практична робота не відпрацьована або дані незадовільні відповіді              | незадовільно |

### Самостійна робота

|              |                                                                                         |              |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 6 – 10 балів | Самостійна робота відпрацьована та вчасно захищена, надані повні обґрунтовані відповіді | зараховано   |
| 0 – 5 балів  | Самостійна робота не відпрацьована або дані незадовільні відповіді                      | незараховано |

### Тестування (у рамках одного модулю)

|           |                                  |              |
|-----------|----------------------------------|--------------|
| 9,0-15,0  | 90 - 100 % правильних відповідей | відмінно     |
| 8,0 -8,9  | 74 – 89% правильних відповідей   | дуже добре   |
| 7,0 – 7,9 | 60 – 73% правильних відповідей   | добре        |
| 5,0 – 6,9 | 35 – 59 % правильних відповідей  | достатньо    |
| 0 – 4,9   | 0-35 % правильних відповідей     | незадовільно |

## 7. Засоби діагностики успішності навчання

**Методи навчання**, які використовуються у процесі проведення занять, а також самостійних робіт за ОК:

**Лекційні заняття:** Словесні методи: розповідь, пояснення, бесіда, дискусія; Наочні: ілюстрація, спостереження, демонстрація; пояснювально-демонстративний метод, проблемний виклад.

**Практичні заняття:** аналіз конкретних ситуацій (проблемних, звичайних, нетипових); групове обговорення питання; дискусії, виконання ситуаційно-розрахункових задач, інтерактивні методи навчання (проблемне навчання, робота в малих групах, кейс-метод, мозговий штурм, проєктний метод), тренінг, технології ситуативного моделювання, технології опрацювання дискусійних питань

**Лабораторні заняття:** виконання лабораторних дослідів з наступних захистом результатів досліджень.

**Самостійна робота:** робота з навчально-методичними матеріалами, робота зі статистично-аналітичними звітами, складання планової та звітної документації, науково-дослідна робота здобувачів (методи пізнання, аналогій, оцінка, ілюстрація тощо), складання скетчів за темами лекцій, реферування, конспектування)

## 8. Інформаційні ресурси

### Базові (основні):

1. Техніка і технологія транспортування та зберігання зріджених газів (Техніка транспортування зріджених газів) [Електронний ресурс] : навч. посіб. до практ. занять та самост. роботи / Л. І. Морозюк, В. В. Соколовська-Єфименко, А. В. Мошкатюк ; Одес. нац. технол. ун-т, Каф. криогенної техніки. — Одеса : ОНТУ, 2022. — 82 с. — Електрон. текст. дані. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHNT.1813717>.

2. Техніка і технологія транспортування та зберігання зріджених газів (Основи теорії та розрахунку циклів транспортних низькотемпературних машин) [Електронний ресурс]: навч. посіб. до практ. занять та самост. роботи / Л. І. Морозюк, В. В. Соколовська-Єфименко, А. В. Мошкатюк ; Одес. нац. технол. ун-т, Каф. криогенної техніки. — Одеса : ОНТУ, 2022. — 98 с. — Електрон. текст. Дані <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHNT.1813689>.

3. Криогенні технології видобування рідкісних газів: конспект лекцій [Електронний ресурс] : для здобувачів освіти галузі знань 14 "Електрична інженерія", спец. 142 "Енергетичне

- машинобудування", СВО "бакалавр" / Ю. М. Симоненко, В. Л. Бондаренко ; Каф. кріогенної техніки. — Одеса : ОНАХТ, 2022. — 113 с. — Електрон. текст. дані. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ.1809511>.
4. Арсеньєв В.М. Кріогенна техніка: основи теорії і розрахунку циклів кріогенних установок [Електронний ресурс] : навч. посіб. / В. М. Арсеньєв, В. М. Козін. — Суми : СумДУ, 2021. — 272 с. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ.2033458>.
5. Врагов А.П. Масообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв [Текст] : навч. посіб. / А. П. Врагов. — Суми : Унів. кн., 2018. — 287 с. : іл., табл. — Бібліогр.: с. 265-267. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdOAH.BibRecord.60393>.

#### Додаткові:

1. Cryogenic Technologies of Rare Gases Extraction [Текст] = Кріогенні технології добування рідких газів : monograph / V. L. Bondarenko, Yu. M. Simonenko. — Odessa : Astroprint, 2014. — 312 p. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnв.BibRecord.166505>
2. Stirling and Vuilleumier heat pumps: design and applications / Jaroslav Wurm et al. — USA: MyGraw-Hill Inc., 1991. — 252 p. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ.2155402>.
3. Врагов А.П. Процеси та обладнання газороздільних установок: навч. посіб. — Суми: ВТД «Університетська книга», 2005. — 272 с.. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdOAH.BibRecord.52073>
4. The future of helium as a natural Resource / William J. Nuttall, Richard H. Clarke, Bartek A. Glowacki. — UK: Routledge, Taylor & Francis Group, 2012. — 330 p. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ.2156253>

### 9. Політика освітнього компоненту

Політика всіх освітніх компонент в ОНТУ є уніфікованою та визначена з урахуванням законодавства України, [Корпоративному кодексу ОНТУ](#), [Кодексу академічної доброчесності ОНТУ](#), [Положення про організацію освітнього процесу ОНТУ](#), [Положення про порядок перезарахування результатів навчання \(навчальних дисциплін\) в ОНТУ](#), [вимог ISO 9001:2015](#) та [роботодавців](#).

Розглянуто та затверджено на засіданні кафедри кріогенної техніки

Протокол від «28» серпня 2023 р. № 1

Завідувач кафедри



Юрій СИМОНЕНКО

ПОГОДЖЕНО:

Гарант ОП «Кріогенні технології виробництва, Зрідження і транспортування природних газів», професор кафедри кріогенної техніки



Лариса МОРОЗЮК