

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



**СИЛАБУС ОBOB'ЯЗKOBOTO OCBITHЬOTO KOМПОНЕНТУ**

**«КРІОГЕННІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА І  
ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗРІДЖЕНИХ ПРИРОДНИХ ГАЗІВ»**

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; Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря*

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:** [Кравченко Михайло Борисович](#), доктор  
технічних наук, професор



**Профайл**  
**Контакти:**  
kravtchenko@i.ua,  
048-720-91-21

**Освітній компонент «Кріогенні технології виробництва і транспортування зріджених природних газів» викладається на першому курсі у другому семестрі для денної та заочної форм навчання**

**Кількість: кредитів - 5, годин – 150**

<b>Аудиторні заняття, годин:</b>	<b>всього</b>	<b>лекції</b>	<b>лабораторні</b>	<b>практичні</b>
<b>денна</b>	50	20	10	20
<b>заочна</b>	16	6	4	6
<b>Самостійна робота, годин</b>	<b>Денна – 100</b>		<b>Заочна – 134</b>	

### Розклад занять

## 2. Анотація освітнього компоненту

Освітній компонент «Кріогенні технології виробництва і транспортування зріджених природних газів» знайомить майбутніх магістрів з важливим та перспективним напрямом розвитку енергетики – отриманням, зберіганням і транспортуванням зрідженого природного газу (ЗПГ). Обсяги міжнародної торгівлі зрідженим природним газом стрімко зростають протягом останніх десятиліть. Постачання ЗПГ до України, в перспективі може стати важливою складовою її енергетичної незалежності.

Курс знайомить студентів з методами та особливостями очищення, зрідження, зберігання, транспортування та використання ЗПГ.

Основним завданням освітнього компоненту є якісна підготовка здобувачів вищої освіти до виробничо-технологічної діяльності та формування у них знань і навичок необхідних для розробки новітніх методів зрідження, зберігання та транспортування ЗПГ.

Освітній компонент «Кріогенні технології виробництва і транспортування зріджених природних газів» базується на знаннях, отриманих здобувачем вищої освіти в результаті вивчення освітніх компонент «Вища математика», «Фізика», «Хімія», «Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство», «Технічна термодинаміка», «Гідрогазодинаміка», «Тепло-масообмін», „Теоретичні основи холодильної техніки”, «Кріогенна техніка» та ін.

## 3. Мета освітнього компоненту

Метою викладання освітнього компоненту «Кріогенні технології виробництва і транспортування зріджених природних газів» є надання здобувачам вищої освіти і комплексних знань, необхідних для побудови, аналізу і розрахунку технологічних схем установок для зрідження природного газу, його зберігання, транспортування і подальшої регазифікації. Це має важливе значення для отримання студентами глибокої теоретичної підготовки по спеціальностям „Кріогенні технології виробництва, зрідження і транспортування природних газів” та „Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря”.

## 4. Компетентності та програмні результати навчання

У результаті вивчення освітнього компоненту «Кріогенні технології виробництва і транспортування зріджених природних газів» 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»](#) та [«Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря»](#) підготовки магістрів.

### Інтегральна компетентність

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

### Загальні компетентності:

**ЗК 1.** Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

**ЗК 8\*.** Прагнення до збереження навколишнього середовища

### Спеціальні (фахові, предметні) компетентності:

**СК 9\*.** Здатність демонструвати та застосовувати передові знання в енергетичному машинобудуванні та засобах кріогенної 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 кріогенних технологій виробництва і зрідження природних газів

### Програмні результати навчання:

**РН 5.** Створювати новітні технології та процеси і обґрунтовувати вибір обладнання та інструментів, з урахуванням обмежень в енергетичному машинобудуванні на основі сучасних знань в енергетичній та суміжних галузях.

**РН 8.** Розробляти, обирати та застосовувати ефективні розрахункові методи розв'язання складних задач енергетичного машинобудування.

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

## 5. Інформаційний обсяг освітнього компоненту

### 5.1 Перелік лекційних завдань

Тема	Зміст теми	Кількість годин	
		денна	заочна
<b>Змістовний модуль 1. Кріогенні установки для зрідження природного газу.</b>			
1	Вступ. Хімічний склад і властивості природного газу у газовому і рідкому станах. Основні правила техніки безпеки при роботі з природним газом.	2	-
2	Світова інфраструктура для виробництва і використання зрідженого природного газу. Необхідність зрідження природного газу для його подальшого морського транспортування. Світові центри виробництва і використання зрідженого природного газу.	2	-
3	Одиниці виміру продуктивності сучасних установок для зрідження природного газу. Класифікація установок для зрідження природного газу по їх продуктивності. Світові тенденції зростання продуктивності установок для зрідження природного газу.	2	-
4	Каскадний цикл для зрідження природного газу фірми Phillips для зрідження природного газу, його переваги і недоліки. Схема каскадної установки для зрідження природного газу у місті Дарвін (Австралія). Вдосконалений каскадний цикл на сумішевих холодильних агентах фірми Linde.	2	2

5	Цикл Олександра Кліменка для зрідження природного газу. Термодинамічні втрати в циклі Кліменка. Пояснення ефективності циклу Кліменка при його використанні для зрідження природного газу. Процес С3MR фірми Air Products & Camicals Inc для зрідження природного газу.	2	2
6	Технологічна схема установки С3MR фірми Air Products & Camicals Inc для зрідження природного газу. Схема установки для зрідження природного газу Snohvit фірми Linde. Використання детандерного циклу Брайтона для переохолодження LNG.	2	-
7	Порівняльний аналіз використання різних технологічних схем для зрідження природного газу. Частота використання різних циклів для зрідження ПГ в світі. Технологічні тренди заводів по зрідженню природного газу. Типи теплообмінних апаратів, які використовуються на сучасних установках. Світові тренди схем охолодження установок для зрідження ПГ.	2	-
<b>Змістовний модуль 2. Конструкції резервуарів для зберігання ЗПГ, обладнання терміналів для прийому ЗПГ, танкери для перевезення ЗПГ</b>			
8	Катастрофа в Клівленді 1944 р. та її вплив на сучасні підходи до створення великих резервуарів для зберігання ЗПГ. Конструкції сучасних резервуарів типів Single containment, Double containment та Full containment. Способи запобігання промерзанню ґрунта під резервуарами для зберігання ЗПГ.	2	-
9	Історія морського транспортування ЗПГ. Розвиток морського транспортування ЗПГ в сучасному світі. Конструкції танків для транспортування ЗПГ типів: Kvaerner-MOSS, GTT-Mark III, GTT-N96 та ІНІ. Порівняльна характеристика танків та область застосування.	2	2
10	Термінали для прийому ЗПГ. Необхідні складові терміналів для прийому ЗПГ. Принцип дії газифікаторів відкритого типу, з проміжним теплоносієм, газифікаторів з зануреним пальником. Використання ексергії ЗПГ на терміналах для його прийому та газифікації.	2	-
<b>Разом за ОК:</b>		<b>20</b>	<b>6</b>

## 5.2 Перелік лабораторних робіт

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість годин	
		денна	заочна
1	Загальне знайомство з лабораторною базою кафедри. Техніка безпеки при роботі зі зрідженими газами.	2	2
2	Знайомство з конструкцією ємностей для тривалого зберігання зріджених газів. Види криогенної теплоізоляції.	2	2
3	Вивчення поведінки криогенної рідини всередині криогенної ємності	2	-
4	Знайомство з послідовністю дій при заправленні та розвантаженні зріджених газів з криогенних цистерн.	2	-
5	Вивчення конструкції автомобільних баків для використання ЗПГ в якості моторного палива.	2	-
<b>Всього за ОК:</b>		<b>10</b>	<b>4</b>

### 5.3 Перелік практичних робіт

№ з/п	Назва практичної роботи	Кількість годин	
		денна	заочна
1	Простий дросельний цикл і його розрахунок	4	1
2	Цикл з попереднім охолодженням прямого потоку і його розрахунок	2	1
3	Методи розрахунку детандерних циклів.	2	-
4	Методи розрахунку каскадного циклу для зрідження природного газу.	4	1
5	Мінімальна робота зрідження газу і її розрахунок	4	1
6	Теплові надходження до резервуарів з ЗПГ та їхній розрахунок	2	1
7	Ролл-овер та методи його запобігання при тривалому зберіганні ЗПГ	2	-
<b>Всього за ОК:</b>		<b>20</b>	<b>6</b>

### 5.4 Перелік завдань до самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1	Вивчення конструкцій установок для зрідження біогазу та газу зі сміттєзвалищ	18	20
2	Вивчення особливостей конструкцій установок для зрідження шахтного метану	16	20
3	Вивчення схем установок для отримання гелію в процесі зрідження природного газу	16	30
4	Особливості установок для згладжування піків використання природного газу	18	22
5	Вивчення конструкцій двигунів внутрішнього згорання для роботи на ЗПГ	16	22
6	Використання ексергії ЗПГ в процесі його використання	16	20
<b>Всього за ОК:</b>		<b>100</b>	<b>134</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 – *екзамен*.

### Нарахування балів:

Вид роботи, що підлягає контролю	Максимальна кількість оціночних балів	
	денна	заочна
<b>Змістовний модуль 1. Кріогенні установки для зрідження природного газу.</b>		
Лекційний курс*	6	6
Практичні роботи*	14	14
Лабораторні роботи*	10	10
Самостійна робота*	5	5
Всього за змістовний модуль 1	<b>35</b>	<b>35</b>
<b>Змістовний модуль 2. Конструкції резервуарів для зберігання ЗПГ, обладнання терміналів для прийому ЗПГ, танкери для перевезення ЗПГ.</b>		
Лекційний курс*	6	6
Практичні роботи*	14	14
Лабораторні роботи*	10	10
Самостійна робота *	5	5
Всього за змістовний модуль 2	<b>35</b>	<b>35</b>
Екзамен	<b>30,0</b>	<b>30,0</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 – екзамен

27-30 балів	якщо здобувач демонструє повні й глибокі знання навчального матеріалу, достовірний рівень розвитку умінь і навичок, правильне й обґрунтоване формулювання практичних висновків, уміння приймати необхідні рішення в різних нестандартних ситуаціях, вільне володіння науковими термінами, високу комунікативну культуру	відмінно
23-26 балів	якщо здобувач виявляє дещо обмежені знання навчального матеріалу, допускає окремі несуттєві помилки й неточності	дуже добре
18-22 бали	якщо здобувач засвоїв основний навчальний матеріал, володіє необхідними умінями та навичками для вирішення стандартних завдань, проте при цьому допускає неточності, не виявляє самостійності суджень, демонструє недоліки комунікативної культури	задовільно
0-17 балів	якщо здобувач не володіє необхідними знаннями, умінями й навичками, науковими термінами, демонструє низький рівень комунікативної культури	незадовільно

### Лекційний курс

8 - 12 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 буде 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		
3,5 - 4 балів	8,5 – 10,0 балів	Практична робота відпрацьована та вчасно захищена, надані повні обґрунтовані відповіді	відмінно
3,0 - 3,4 балів	6,0 - 8,4 балів	Практична робота відпрацьована та вчасно захищена, при відповіді допущені неточності	дуже добре
2,5 – 2,9 балів	3,5 – 5,9 балів	Практична робота відпрацьована, відповіді неповні, допущені помилки	добре
1,1 – 2,4 балів	2,1 – 3,4 балів	Практична робота відпрацьована, відповіді незадовільні, допущені грубі помилки	достатньо
0-1 балів	0-2 балів	Практична робота не відпрацьована або дані незадовільні відповіді	незадовільно

### Практичні роботи (оцінювання однієї роботи)

Денна	Заочна		
3,5 - 4 балів	4,5 – 5,6 балів	Практична робота відпрацьована та вчасно захищена, надані повні обґрунтовані відповіді	відмінно
3,0 - 3,4 балів	4,0 - 4,4 балів	Практична робота відпрацьована та вчасно захищена, при відповіді допущені неточності	дуже добре
2,5 – 2,9 балів	3,5 – 3,9 балів	Практична робота відпрацьована, відповіді неповні, допущені помилки	добре
1,1 – 2,4 балів	2,1 – 3,4 балів	Практична робота відпрацьована, відповіді незадовільні, допущені грубі помилки	достатньо
0-1 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

### 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, проектний 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. Технічна термодинаміка і теплообмін [Текст] : підручник / О. А. Вассерман, О. Г. Слинко. — Одеса : Фенікс, 2019. — 496 с. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHT.1596075>.
2. Air separation units for cryogenic products : lecture notes [Електронний ресурс] : Written according to academic course working programme "Air separation units for cryogenic products" for 14 "Electrical Engineering" field of study students, programme subject area 142 "Power Machinery", degree "Master" / М. Kravchenko ; Department of Cryogenic Engineering. — Одеса : ONAFT, 2022. — 73 р. — Електрон. текст. дані. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHT.1809475>.
3. Cryogenic technology and low-temperature machines: lecture notes [Електронний ресурс] : Written according to academic course working programme "Cryogenic technology and low-temperature machines " for 14 "Electrical Engineering" field of study students, programme subject area 142 "Power Machinery", degree "Bachelor" / М. Kravchenko ; Department of Cryogenic Engineering. — Одеса : ONAFT, 2022. — 105 р. — Електрон. текст. дані. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHT.1809359>.
4. Кріогенні 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=OdONAHT.1809511>
5. Арсеньев В.М. Кріогенна техніка: основи теорії і розрахунку циклів кріогенних установок [Електронний ресурс] : навч. посіб. / В. М. Арсеньев, В. М. Козін. — Суми : СумДУ, 2021. — 272 с. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHT.2033458>.



6. Конспект лекцій з дисципліни "Транспортування та збереження зрідженого природного газу" [Електронний ресурс] : для студентів спец. 185 "Нафтогазова інженерія та технології" ден. та заоч. форм навчання / Т. В. Дьяченко. — Одеса : ОНАХТ, 2021. — 107 с. — Електрон. текст. дані. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHT.1581825>

#### 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=OdONAHT-cnv.BibRecord.166505>.
2. Stirling and Vuilleumier heat pumps: design and applications / Jaroslav Wurm et al. — USA: McGraw-Hill Inc., 1991. — 252 p. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHT.2155402>.
3. 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=OdONAHT.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](#).

Викладач



Михайло КРАВЧЕНКО

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

Гарант ОП «Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря», доцент кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря



Володимир КОГУТ