

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



**СИЛАБУС ВИБІРКОВОГО ОСВІТНЬОГО КОМПОНЕНТУ
«КРІОГЕННА ТЕХНІКА»**

Мова навчання – *українська*

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

Код та найменування спеціальності *142 «Енергетичне машинобудування»*

Освітньо-професійна програма *Холодильні машини, установки і кондиціювання повітря*

Ступінь вищої освіти *бакалавр*

Затверджено на засіданні

Методичної Ради зі спеціальності *142 «Енергетичне машинобудування»*
«19» вересня 2024 р. протокол № 1.

Реєстраційний номер в навчальному відділі НЦООП

1. Загальна інформація

Кафедра: [Кріогенної техніки](#)
Викладач: [Грудка Богдан Геннадійович](#), доцент кафедри кріогенної техніки, кандидат технічних наук

Контакти:
Профайл bogdangennadievich@gmail.com,
048-720-91-16



Освітній компонент «Кріогенна техніка» викладається на третьому курсі у першому семестрі для денної та заочної форм навчання

Кількість: кредитів - 5, годин – 150

Аудиторні заняття, годин:	всього	лекції	лабораторні	практичні
денна	60	28	16	16
заочна	18	8	6	4
Самостійна робота, годин	Денна – 90		Заочна – 132	

[Розклад занять](#)

2. Анотація освітнього компоненту

Освітній компонент «Кріогенна техніка» спрямований на ознайомлення майбутніх бакалаврів з основами кріогенної техніки, з основними фактами з історії кріогенної техніки, процесами, які використовуються для отримання кріогенних температур та деякими особливостями схем та апаратів кріогенних установок. Основним завданням викладання освітнього компоненту є якісна підготовка здобувачів вищої освіти до виробничо-технологічної діяльності та формування у них знань, необхідних для вирішення фахових питань в сфері кріогенних технологій. Зокрема, створити теоретичну базу підготовки фахівця в галузі низькотемпературної техніки і технології; сформулювати технічний світогляд, закласти фундамент технічної ерудиції; виробити в звичку за любых обставин дбайливо ставитися до енергетичних ресурсів; навчити студента ефективно вирішувати практичні інженерні задачі, пов'язані з розрахунком, конструюванням, обслуговуванням та експлуатацією кріогенних машин і установок.

Освітній компонент «Кріогенна техніка» базується на знаннях, отриманих здобувачем вищої освіти в результаті вивчення освітніх компонент «Вища математика», «Фізика», «Хімія», «Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство», «Технічна термодинаміка», «Гідро газодинаміка», «Тепло-масообмін», та ін.

3. Мета освітнього компоненту

Метою викладання освітнього компоненту «Кріогенна техніка» є надання здобувачам вищої освіти комплексних знань в галузі термодинамічних процесів, які використовуються для отримання кріогенних температур і схемами та апаратами кріогенних установок.

4. Компетентності та програмні результати навчання

У результаті вивчення освітнього компоненту «Кріогенна техніка» здобувач вищої освіти отримує наступні програмні компетентності та програмні результати навчання, які визначені в [Стандарті вищої освіти зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»](#), та освітньої програми [«Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря»](#) підготовки бакалаврів.

Інтегральна компетентність

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми у галузі енергетичного машинобудування або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій

тепломасообміну, технічної термодинаміки, гідрогазодинаміки, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки, та методів відповідних наук і характеризується комплексністю та невизначеністю умов

Загальні компетентності:

ЗК1. Здатність реалізувати свої права і обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина в Україні.

ЗК3. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК12. Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня.

ЗК14. Навички здійснення безпечної діяльності.

ЗК15. Здатність забезпечувати якість виконуваних робіт.

ЗК16. Прагнення до збереження навколишнього середовища.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності:

ФК1. Здатність продемонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепції розвитку галузі енергетичного машинобудування.

ФК2. Здатність продемонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепції розвитку галузі енергетичного машинобудування

ФК5. Здатність розробляти енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проектування проектуванні та експлуатації енергетичного і теплотехнологічного обладнання.

ФК6. Здатність вибирати основні й допоміжні матеріали та способи реалізації основних теплотехнологічних процесів при створенні нового обладнання в галузі енергомашинобудування і застосовувати прогресивні методи експлуатації теплотехнологічного обладнання для об'єктів енергетики, промисловості і транспорту, комунально-побутового та аграрного секторів економіки.

Програмні результати навчання:

ПР2. Знання і розуміння інженерних наук на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях.

ПР5. Виявляти, формулювати і вирішувати інженерні завдання відповідно до спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»; розуміти важливість нетехнічних (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) обмежень.

ПР6. Розробляти і проектувати вироби в галузі енергетичного машинобудування, процеси і системи, що задовольняють встановленим вимогам, які можуть включати обізнаність про нетехнічні (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) аспекти; обрання і застосовування адекватної методології проектування.

ПР10. Планувати і виконувати експериментальні дослідження за допомогою інструментальних засобів (вимірювальних приладів), оцінювати похибки проведення досліджень, робити висновки.

ПР13 Використовувати обладнання, матеріали та інструменти, інженерні технології і процеси, а також розуміння їх обмежень при вирішенні професійних завдань.

ПР23*. Здатність удосконалювати та розробляти системи кондиціонування повітря на базі екологічно-безпечних холодильних агентів.

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 Кальете. Установа Ольшевського та Вроблевського для зрідження кисню.	2	-

2	Простий дросельний цикл для зрідження кріогенних речовин. Температура інверсії. Коефіцієнт зрідження. Енергетичні та ексергетичні показники циклу. Установка Хемпсона.	2	2
3	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.	2	2
4	Історія зрідження водню та гелію. Установка Дьюара. Сосуди Дьюара. Гелій у природі та джерела отримання гелію. Установка Каммерлінг-Оннеса для зрідження гелію. Відкриття надпровідності та надтекучості.	2	-
5	Термодинамічні втрати простого дросельного циклу. Цикл двох тисків. Цикл Кеєзона. Цикл Кліменка.	2	-
6	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.	2	-
7	Розділення повітря методом ректифікації. Принцип роботи ректифікаційної колони. Колона дворазової ректифікації, особливості роботи та застосування. Найпростіша установка для розділу повітря з колоною дворазової ректифікації. Отримання інертних газів.	2	-
Змістовний модуль 2. Детандерні кріогенні цикли			
8	Детандерні цикли. Установка Жоржа Клода для зрідження повітря. Детандерний цикл Клода. Методи розрахунку температури газу, який виходить з детандеру.	2	2
9	Конструкція детандера Гейландта. Детандерний цикл Гейландта для зрідження повітря. Особливості розрахунку циклу.	2	-
10	Конструкція детандера Гейландта. Детандерний цикл Гейландта для зрідження повітря. Особливості розрахунку циклу.	2	-
11	Цикл Капіци для зрідження гелію. Конструкція детандеру Капіци. Особливості роботи установок для зрідження гелію у рефрижераторному режимі та у режимі зрідження. Розрахунок циклу Капіци для зрідження Гелію.	2	-
12	Цикл Колінза для зрідження гелію. Конструкція детандеру Колінза. Особливості розрахунку циклу Колінза. Установка Сімона для отримання рідкого гелію. Сучасні схеми ожижувачів гелію. Кріогенне забезпечення надпровідних пристроїв.	2	-
13	Кріогенний цикл Стірлінга. Класифікація конструкцій машин Стірлінга. Розрахунок ідеального циклу Стірлінга. Ромбічний рушій і інші сучасні конструкції машин Стірлінга.	2	1
14	Кріогенний цикл Гіффорда-МакМагона. Розрахунок ідеального циклу Гіффорда-МакМагона. Термо-акустичні кріогенні установки.	2	1
Разом за ОК:		28	8

5.2 Перелік лабораторних робіт

№ з/п	Назва практичної роботи	Кількість годин	
		денна	заочна
1	Загальне знайомство з лабораторною базою кафедри. Техніка безпеки при роботі зі зрідженими газами.	2	2
2	Дослідження випаровування кріогенної рідини в сосуді Дьюара.	2	-
3	Розрахунок теплових надходжень до сосуда Дьюара.	2	-

4	Вивчення конструкції установки для розділення повітря КА-0,02.	2	2
5	Вивчення конструкції зріджувача гелію ОГ-8.	2	2
6	Знайомство з кріорефрижераторами ЗІФ-700 та ЗІФ-1000, що працюють по циклу Стірлінга. Методи підвищення їх енергетичної ефективності.	2	-
7	Дослідження роботи теплової машини, що працює по циклу Стірлінга. Вимірювання залежності числа обертів машини від різниці температур.	2	-
8	Розрахунок температурного та адіабатного ККД машини Стірлінга.	2	-
Всього за ОК:		16	6

5.3 Перелік практичних робіт

№ з/п	Назва практичної роботи	Кількість годин	
		денна	заочна
1	Простий дросельний цикл і його розрахунок	4	2
2	Цикл з попереднім охолодженням прямого потоку і його розрахунок	2	-
3	Методи розрахунку детандерних циклів.	2	-
4	Цикл Клода і його розрахунок	2	2
5	Цикл Гейландта і його розрахунок	2	-
6	Цикл Капіці для зрідження гелію і його розрахунок	2	-
7	Цикли для зрідження водню, і методи врахування орто-параконверсії	2	-
Всього за ОК:		16	4

5.4 Перелік завдань до самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1	Вивчення конструкцій балонно-дросельних кріогенних систем.	10	20
2	Вивчення конструкцій блоків очищення кріогенних систем.	10	12
3	Використання ректифікації в процесах отримання технічних газів	15	20
4	Вивчення конструкції і принципу роботи системи Симона для зрідження гелію.	10	20
5	Вивчення видів кріогенної теплоізоляції і особливостей їх використання.	15	20
6	Вивчення методів та схем проведення орто-параконверсії рідкого водню. Цикли для зрідження водню.	15	20
7	Вивчення методів отримання вакууму для вакуумної теплоізоляції.	15	20
Всього за ОК:		90	132

6. Система оцінювання та вимоги

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

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:

- виконання і захист практичних/лабораторних робіт;
- письмові контрольні роботи за окремими темами або модульні контрольні роботи;
- усне опитування.

Підсумковий контроль – **екзамен**

Нарахування балів:

Вид роботи, що підлягає контролю	Максимальна кількість оціночних балів	
	Денна	Заочна
Змістовний модуль 1. «Дросельні кріогенні цикли»		
Лекційний курс*	4	4
Практичні роботи*	14	14
Лабораторні роботи*	12	12
Самостійна робота*	5	5
Всього за змістовний модуль 1	35	35
Змістовний модуль 2. «Детандерні кріогенні цикли»		
Лекційний курс*	4	4
Практичні роботи*	14	14
Лабораторні роботи*	12	12
Самостійна робота*	5	5
Всього за змістовний модуль 2	35	35
Екзамен	30,0	30,0
Всього	100,0	100,0

*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 уміннями 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, уміннями й навичками, науковими термінами, демонструє низький рівень комунікативної культури	незадовільно

Лабораторні роботи (оцінювання однієї роботи)

Денна	Заочна		
2,5 – 3 балів	6,5 - 8 балів	Лабораторна відпрацьована та вчасно захищена, надані повні обґрунтовані відповіді	відмінно

2,0 - 2,4 балів	5,0 - 6,4 балів	Лабораторна відпрацьована та вчасно захищена, при відповіді допущені неточності	дуже добре
1,5 – 1,9 балів	3,5 – 4,9 балів	Лабораторна відпрацьована, відповіді неповні, допущені помилки	добре
1,1 – 1,4 балів	2,1 – 3,4 балів	Лабораторна відпрацьована, відповіді незадовільні, допущені грубі помилки	достатньо
0-1 балів	0-2 балів	Лабораторна не відпрацьована або дані незадовільні відповіді	незадовільно

Практичні роботи (оцінювання однієї роботи)

Денна	Заочна		
3,0 – 4,0 балів	10,5 - 14 балів	Практична робота відпрацьована та вчасно захищена, надані повні обґрунтовані відповіді	відмінно
2,5 - 2,9 балів	8,0 - 10,4 балів	Практична робота відпрацьована та вчасно захищена, при відповіді допущені неточності	дуже добре
2,0 – 2,4 балів	4,5 – 7,9 балів	Практична робота відпрацьована, відповіді неповні, допущені помилки	добре
1,0 – 1,9 балів	2,1 – 4,4 балів	Практична робота відпрацьована, відповіді незадовільні, допущені грубі помилки	достатньо
0 - 0,9 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, 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. 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=OdONAHNT.2033458>.

2. 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. — Odesa : ONAFT, 2022. — 105 p. — Електрон. текст. дані. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHT.1809359>.
3. Повітророздільні установки : конспект лекцій [Електронний ресурс] : для здобувачів освіти галузі знань 14 "Електрична інженерія", спец. 142 "Енергетичне машинобудування", СВО "Бакалавр" / Б. Г. Грудка, А. М. Басов ; Каф. кріогенної техніки. — Одеса : ОНАХТ, 2022. — 57 с. — Електрон. текст. дані. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHT.1809319>.
4. 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. — Odesa : ONAFT, 2022. — 73 p. — Електрон. текст. дані. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHT.1809475>.
5. 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>

Додаткові:

1. Balmer, R. (1990) Modern engineering thermodynamics. Elsevier Inc, 827. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHT.2154668>
2. 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-cnrv.BibRecord.166505>.
3. 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=OdONAHT.2155402>.

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



Богдан ГРУДКА

Розглянуто та затверджено на засіданні кафедри кріогенної техніки
Протокол від «30» серпня 2024 р. № 1

Завідувач кафедри



Юрій СИМОНЕНКО

ПОГОДЖЕНО:

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



Ольга ЯКОВЛЕВА