



ГЛИБОКЕ ОХОЛОДЖЕННЯ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>133 Галузеве машинобудування</i>
Освітня програма	<i>Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна (денна/дистанційна/змішана)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр, ЛН-31мп</i>
Обсяг дисципліни	<i>4,0 кредитів ЄКТС, 120 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, МКР</i>
Розклад занять	<i>3 години на тиждень (2 година лекцій, 4 години практик)</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доц., к.т.н. Гулієнко Сергій Валерійович, +380504488173, sergiiqulienko@gmail.com Практичні / Семінарські: к.т.н. Гулієнко Сергій Валерійович, +380504488173, sergiiqulienko@gmail.com Лабораторні: не передбачено навчальним планом
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

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

Хімічна промисловість є одним з найбільших споживачів штучного холоду в цілому, та глибокого холоду зокрема. Одним з найважливіших застосувань штучного холоду є зрідження газів, що широко використовується не лише в хімічній промисловості, а й у паливно-енергетичному комплексі. Для забезпечення можливості глибокого охолодження, необхідно провести точні розрахунки циклу та підібрати необхідне обладнання, що детально вивчається в цьому курсі.

Основа освітнього компоненту «Глибоке охолодження» - вивчення таких тем як теоретичні основи отримання глибокого холоду. Цикли процесів глибокого охолодження та зрідження газів. Обладнання для процесів глибокого охолодження, зрідження газів, та розділення зріджених газових сумішей на компоненти.

Ціль вивчення освітнього компоненту «Глибоке охолодження» полягає в наданні майбутнім магістрам знання фундаментальних законів, на яких ґрунтуються методи отримання температур нижче -100°C («глибоке охолодження»), уявлення про апаратне оформлення циклів глибокого охолодження, конструкції основного обладнання для глибокого охолодження.

Метою вивчення даного освітнього компоненту є формування у студентів таких компетенцій:

- Здатність створювати, удосконалювати та застосовувати кількісні математичні, наукові й технічні методи та комп'ютерні програмні засоби, застосовувати системний підхід для розв'язання інженерних задач проектування обладнання глибокого охолодження;

- Здатність розробляти і реалізовувати плани й проекти у глибокого охолодження

Результати навчання полягають у такому:

- Здійснювати інженерні розрахунки для вирішення складних задач і практичних проблем у глибокому охолодженні

- Аналізувати холодильні об'єкти, процеси та методи

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

Дисципліна «Глибоке охолодження» є вибірковою дисципліною.

Загальні знання у рамках освітньої програми бакалавра за спеціальністю. Базові знання тепло та масообміну. Перевагою при вивченні курсу буде вивчення при підготовці за першим (бакалаврським) рівнем ВО освітнього компоненту «Холодильна техніка».

Вивчення дисципліни буде корисним при засвоєнні матеріалу таких дисциплін як «практика», «Виконання магістерської дисертації», а також сприятиме кращому засвоєнню матеріалів вибірових дисциплін, таких як «Процеси та обладнання синтезу та переробки високомолекулярних сполук», «Надійність, довговічність устаткування і застосування новітніх кавітаційних технологій».

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Фізичні основи отримання глибокого холоду

Тема 1.1. Отримання глибокого охолодження. Машина глибокого охолодження.

Розділ 2. Цикли машин глибокого охолодження

Тема 2.1 Цикли для скраплення газів без використання зовнішньої роботи

Простий регенеративний цикл Лінде. Цикл Лінде з аміачним охолодженням. Цикл з двома тисками повітря. Цикл з подвійним дроселюванням.

Тема 2.2. Цикли для скраплення газів із використанням зовнішньої роботи.

Цикл Клода. Цикл Гейландта. Цикл Капіці. Цикл Ле Ружа.

Тема 2.2. Комбіновані цикли

Цикл з рециркуляцією детандерного повітря. Цикл з рециркуляцією детандерного повітря з аміачним охолодженням. Цикл високого та низького тиску з детандером на низькому тиску та аміачним охолодженням. Цикл з каскадним розширенням повітря.

Розділ 3. Розділення газових сумішей на складові.

Тема 3.1. Сутність методів розділення газових сумішей

Методи розділення газових сумішей. Робота для розділення газових сумішей.

Тема 3.2. Низькотемпературна ректифікація

Сутність процесу ректифікації. Киснева колона однократної ректифікації. Азотна колона однократної ректифікації. Апарат двократної ректифікації. Матеріальний та тепловий баланс. Рівновага в системі азот-кисень. Теоретичні тарілки. Визначення основних розмірів колон. Насадкові колони.

Розділ 4. Обладнання для отримання глибокого холоду

Тема 4.1. Компресори об'ємного принципу дії.

Поршневі компресори. Гвинтові компресори. Ротаційні компресори. Пластинчасті ротаційні компресори. Компресори з ротором, що котиться.

Тема 4.2. Компресори динамічного принципу дії.

Відцентрові компресори. Осьові компресори

Тема 4.3. Детандери

Тема 4.4. Теплообмінне та допоміжне обладнання.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології: підручню у 2 ч. Ч. 1. / Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 300 с. – Бібліогру: с. 298-299.
2. Perry's Chemical Engineers' Handbook. New York: McGraw-Hill, 1997.
3. Ракицький В.Л., Петров В.В. Теоретичні основи холодильної техніки. Термодинамічні властивості робочих речовин: Довідник. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 56 с.
4. Wang Sh. (2006). Handbook of Air Conditioning and Refrigeration. Second Edition. New York. McGraw-Hill,

Додаткова література:

1. Smith, J. M., van Ness, H. C. (2018). Introduction to chemical engineering thermodynamics. New York, McGraw-Hill.
2. Dahm K. D., Visco D. P. (2015). Fundamentals of Chemical Engineering Thermodynamics. Stamford, Cengage Learning
3. International Journal of Refrigeration - <https://www.sciencedirect.com/journal/international-journal-of-refrigeration>
4. Applied Thermal Engineering - <https://www.sciencedirect.com/journal/applied-thermal-engineering>
5. Energies - <https://www.mdpi.com/journal/energies>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Лекційні заняття спрямовані на:

- надання сучасних, цілісних, взаємозалежних знань з дисципліни «Глибоке охолодження», рівень яких визначається цільовою установкою до кожної конкретної теми;
- забезпечення в процесі лекції творчої роботи студентів спільно з викладачем;
- виховання у студентів професійно-ділових якостей і розвиток у них самостійного творчого мислення;
- формування у студентів необхідного інтересу та надання напрямку для самостійної роботи;
- визначення на сучасному рівні розвитку науки в області моделювання процесів мембранного розділення;
- відображення методичної обробки матеріалу (виділення головних положень, висновків, рекомендацій, чітке і адекватне їх формулювання);
- використання для демонстрації наочних матеріалів, поєднання, по можливості їх з демонстрацією результатів досліджень;
- викладання матеріалів досліджень чіткою і якісною мовою з дотриманням структурно-логічних зв'язків, роз'яснення всіх нововведених термінів і понять;

- доступність для сприйняття даною аудиторією.

№ з/п	<i>Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)</i>	Годин
1	Лекція 1. Фізичні основи отримання глибокого холоду. Машини глибокого охолодження. Література [1, 2] Завдання до СРС: Застосування глибокого холоду [2, 4]	2
2	Лекція 2. Цикли для скраплення газів без використання зовнішньої роботи. Простий регенеративний цикл Лінде. Цикл Лінде з аміачним охолодженням. Цикл з двома тисками повітря. Цикл з подвійним дроселюванням. Література [1, 2] Завдання до СРС: Розрахунок втрат холоду в циклах [2, 4]	2
3	Лекція 3. Цикли для скраплення газів із використанням зовнішньої роботи. Цикл Клода. Цикл Гейландта. Цикл Капіці. Цикл Ле Ружа. Література [1, 2] Завдання до СРС: Розрахунок втрат холоду в циклах [2, 4]	2
4	Лекція 4. Комбіновані цикли. Цикл з рециркуляцією детандерного повітря. Цикл з рециркуляцією детандерного повітря з аміачним охолодженням. Цикл високого та низького тиску з детандером на низькому тиску та аміачним охолодженням. Цикл з каскадним розширенням повітря. Література [1, 2] Завдання до СРС: Модернізація циклів [2, 4]	2
5	Лекція 5. Сутність методів розділення газових сумішей. Робота для розділення газових сумішей. Література [1, 2] Завдання до СРС: Вплив складу суміші на вибір обладнання для розділення [2, 4]	2
6	Лекція 7. Низькотемпературна ректифікація. Сутність процесу ректифікації. Киснева колона однократної ректифікації. Азотна колона однократної ректифікації. Апарат двократної ректифікації. Матеріальний та тепловий баланс. Література [1, 2] Завдання до СРС: Рівновага в системі азот-кисень. Теоретичні тарілки. Визначення основних розмірів колон. Насадкові колони [2, 4]	2
7	Лекція 8. Компресори об'ємного принципу дії. Поршневі компресори. Гвинтові компресори. Ротаційні компресори. Пластинчасті ротаційні компресори. Компресори з ротором, що котиться. Література [1, 2] Завдання до СРС: Новітні конструкції компресорів [2, 4]	2
8	Лекція 8. Компресори динамічного принципу дії. Відцентрові компресори. Осьові компресори. Література [1, 2] Завдання до СРС: Новітні конструкції компресорів [2, 4]	2
9	Лекція 9. Детандери. Теплообмінне та допоміжне обладнання. Література [1, 2] Завдання до СРС: Новітні елементи обладнання холодильних циклів глибокого охолодження [2, 4]	2
	Разом	18

Практичні заняття

У системі професійної підготовки студентів з даної дисципліни практичні заняття займають 67 % аудиторного навантаження. Будучи доповненням до лекційного курсу, вони закладають і формують основи кваліфікації бакалавра. Зміст цих занять і методика їх проведення повинні забезпечувати розвиток творчої активності особистості. Вони розвивають технічне мислення і здатність користуватися спеціальною термінологією, дозволяють перевірити знання, Тому даний вид роботи виступає важливим засобом оперативного зворотного зв'язку. Практичні заняття повинні виконувати не тільки пізнавальну і виховну функції, але й сприяти зростанню студентів як творчих працівників.

Основні завдання циклу практичних занять:

- допомогти студентам систематизувати, закріпити і поглибити знання теоретичного характеру в області глибокого охолодження;
- навчити студентів прийомам вирішення практичних завдань, сприяти оволодінню навичками та вміннями виконання розрахунків, графічних та інших завдань;
- навчити їх працювати з науковою та довідковою літературою;
- формувати вміння вчитися самостійно, тобто опанувати методами, способами і прийомами самонавчання, саморозвитку і самоконтролю.

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)	Годин
1	<u>Практичне заняття 1-2.</u> Розрахунок цикл3 з однократним дроселюванням (простий регенеративний цикл К.Лінде)	4
2	<u>Практичне заняття 2.</u> Розрахунок циклу з однократним дроселюванням та попереднім охолодженням повітря	4
3	<u>Практичне заняття 3.</u> Розрахунок циклу середнього тиску з детандером (цикл Клода)	4
4	<u>Практичне заняття 4.</u> Розрахунок циклу високого тиску з детандером (цикл гейландта)	4
5	<u>Практичне заняття 5.</u> Розрахунок цикл низького тиску з турбодетандером (цикл П.Л.Капіца)	4
6	<u>Практичне заняття 6.</u> Розрахунок кисневої установки. Частина 1. Розрахунок матеріального і теплового балансу установки	4
7	<u>Практичне заняття 7.</u> Розрахунок кисневої установки. Частина 2. Розрахунок колони	4
8	<u>Практичне заняття 8.</u> Розрахунок кисневої установки. Частина 3. Розрахунок теплообмінного обладнання	4
9	Модульна контрольна робота	2
10	Залік	2
	Разом	36

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота займає 55 % часу вивчення дисципліни, включаючи і підготовку до екзамену. Головні завдання самостійної роботи студентів – це опанування знань з курсу, що не увійшли в перелік лекційних питань шляхом особистого пошуку інформації, формування активного інтересу до творчого підходу у навчальній роботі. У процесі самостійної роботи в

рамках освітнього компоненту студент повинен навчатися моделювати сучасні процеси синтезу та розділення, що використовуються в хімічній інженерії.

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Розділ 1. Альтернативні методи отримання низьких температур Розділ 2. Практичне застосування циклів глибокого охолодження. Порівняння циклів глибокого охолодження Розділ 3. Конструкційні особливості обладнання для низькотемпературного розділення Розділ 4. Новітні конструкцій обладнання для отримання глибокого холоду Література [2-3]	30
2	Підготовка до МКР	6
3	Підготовка до екзамену	30
	Всього годин	66

олітика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять та поведінки на заняттях

Відвідування занять є обов'язковим компонентом оцінювання. Студенти зобов'язані брати активну участь в навчальному процесі, не спізнюватися на заняття та не пропускати їх без поважної причини, не заважати викладачу проводити заняття, не відволікатися на дії, що не пов'язані з навчальним процесом. При розв'язанні задач на практичних заняттях студенти можуть користуватися будь-якими джерелами інформації та засобами обчислень. Всі завдання виконуються індивідуально.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

• заохочувальні бали можуть нараховуватись викладачем виключно за виконання творчих робіт з дисципліни або додаткового проходження он-лайн профільних курсів з отриманням відповідного сертифікату:

Але їхня сума не може перевищувати 25 % від рейтингової шкали.

• штрафні бали в рамках навчальної дисципліни не передбачені.

Політика дедлайнів та перескладань

У разі виникнення заборгованостей з навчальної дисципліни або будь-яких форс-мажорних обставин, студенти мають зв'язатися з викладачем по доступних (наданих викладачем) каналах зв'язку для розв'язання проблемних питань та узгодження алгоритму дій для відпрацювання.

Політика академічної доброчесності

Плагиат та інші форми недоброчесної роботи неприпустимі. До плагиату відноситься відсутність посилань за використання друкованих та електронних матеріалів, цитат, думок інших авторів. Неприпустимі підказки та списування під час написання тестів, проведення

занять; здачі екзамену за іншого студента; копіювання матеріалів, захищених системою авторського права, без дозволу автора роботи.

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

Політика академічної поведінки і етики

Студенти мають бути толерантним, поважати думку оточуючих, заперечення формулювати в коректній формі, конструктивно підтримувати зворотний зв'язок на заняттях.

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

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

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

Система рейтингових балів та критерії оцінювання:

Виконання завдань на практичних заняттях.

Ваговий бал – 10. Максимальна кількість балів за практичні заняття $10 \cdot 8 = 80$.

Модульна контрольна робота .

Ваговий бал – 20. Максимальна кількість балів за тестування засвоєння лекційного матеріалу $1 \cdot 15 = 15$.

Умовою першої атестації є отримання не менше 20 балів та виконання 50% практичних робіт (на час атестації). Умовою другої атестації – отримання не менше 36 балів та виконання 75% практичних робіт (на час атестації).

Умовою допуску до екзамену є виконання всіх завдань на практичних заняттях.

Сума отриманих студентом балів переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

Кількість балів	Оцінка
95...100	відмінно
85...94	дуже добре
75...84	добре
65...74	задовільно
60...64	достатньо
RD < 60	незадовільно
Не виконані умови допуску	не допущено

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент каф. МАХНВ, к.т.н., доц. Сергій ГУЛІЄНКО

Ухвалено кафедрою МАХНВ (протокол № 20 від 20.06.2024)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол №11 від 28.06.2024)