



Теплотехнологічні процеси та установки – 1. Теплоносії, сушильні, холодильні агенти та холодоносії, теплообмінні, випарні, холодильні установки

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалавр)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>144 Теплоенергетика</i>
Освітня програма	<i>ОНП Теплоенергетика</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/ зочна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3курс, весінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів, 150 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен</i>
Розклад занять	<i>Лекційні заняття – один раз на тиждень; практичні заняття – один раз на тиждень</i>
Мова викладання	<i>Українська, англійська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к.т.н, доц. Назарова Ірина олександрівна, iren72naz@gmail.com¹</i> Практичні: <i>к.т.н, доц. Назарова Ірина олександрівна, iren72naz@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<i>https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?session=e7dcd4d8584a</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Предметом² навчальної дисципліни «Теплотехнологічні процеси та установки» є фізична сутність та закономірності низькотемпературних теплотехнологічних процесів, які використовують в промисловості, безвідносно до того, в якій галузі промисловості ці процеси використовують, основні схеми теплотехнологічних установок, конструкції устаткування цих установок і методи розрахунків і проектування цих установок і обладнання, що входить до їх складу.

Серед теплотехнологічного обладнання багатьох галузей промисловості найбільшу питому вагу мають тепломасообмінні апарати і установки. Їх вартість досягає в ряді галузей

¹ Електронна пошта викладача або інші контакти для зворотного зв'язку, можливо зазначити прийомні години або години для комунікації у разі зазначення контактних телефонів. Для силабусу дисципліни, яку викладає багато викладачів (наприклад, історія, філософія тощо) можна зазначити сторінку сайту де представлено контактну інформацію викладачів для відповідних груп, факультетів, інститутів.

² Для нормативних дисциплін зазначається згідно матриці відповідності програмних компетентностей та результатів навчання в освітній програмі.

промисловості більше 40% капіталовкладень в підприємство. Інтенсифікація тепло- і масообміну в цих апаратах і установках може дати великий економічний ефект.

Інтенсифікація роботи діючих теплотехнологічних апаратів та установок, перехід до використання неперервнодіючого обладнання потребує глибокого знання фізико-хімічних основ процесів, які протікають в цьому обладнанні. Робота по створенню нового вискооефективного теплотехнологічного обладнання повинна: органічно сполучати експлуатаційний досвід та результати досліджень; використовувати досягнення в галузі проектування і конструювання обладнання; враховувати вимоги уніфікації, підвищеної надійності, збільшення одиничної потужності, ергономіки, автоматизації обладнання..

Особливістю дисципліни «Теплотехнологічні процеси та установки» та її першого кредитного модуля є те, що в них промислові теплотехнологічні процеси, апарати і установки розглядаються безвідносно до будь-якої конкретної галузі промисловості. Це дозволяє робити узагальнення, використовувати єдині класифікації апаратів і установок, методики їх теплових, конструктивних, аеро- і гідродинамічних розрахунків.

Метою навчальної дисципліни «Теплотехнологічні процеси та установки» є опанування системи умінь та формування компетенцій, які дозволяють вирішувати типові задачі діяльності і проблеми під час здійснення фахівцем з теплоенергетики в галузі теплотехнологічних процесів і установок виробничих функцій. До таких компетенцій, які має продемонструвати студент після засвоєння навчальної дисципліни належать: формування здатностей (компетентностей), які студент набуде після вивчення дисципліни:

- | | |
|-------------|--|
| ЗК3 | Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями. |
| ЗК6 | Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. |
| ФК2 | Здатність застосовувати і інтегрувати знання і розуміння інших інженерних дисциплін для вирішення професійних проблем. |
| ФК4 | Здатність виявляти, класифікувати і оцінювати ефективність систем і компонентів на основі використання аналітичних методів і методів моделювання в теплоенергетичній галузі. |
| ФК8 | Здатність використовувати наукову і технічну літературу та інші джерела інформації у професійній діяльності в теплоенергетичній галузі.. |
| ФК11 | Здатність забезпечувати якість в теплоенергетичній галузі |
| ФК13 | Здатність аналізувати методи та засоби підвищення теплової економічності устаткування об'єктів промислової та муніципальної теплоенергетики; визначати шляхи модернізації теплової схеми з метою підвищення економічності та надійності роботи об'єктів промислової та муніципальної теплоенергетики |

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі **програмні результати навчання**:

- | | |
|--------------|---|
| ПРН2 | Знати і розуміти інженерні науки, що лежать в основі спеціальності «Теплоенергетика» відповідної спеціалізації, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях науки і техніки у сфері теплоенергетики. |
| ПРН4 | Аналізувати і використовувати сучасні інженерні технології, процеси, системи і обладнання у сфері теплоенергетики. |
| ПРН8 | Застосовувати передові досягнення електричної інженерії та суміжних галузей при проектуванні об'єктів і процесів теплоенергетики. |
| ПРН13 | Розуміти ключові аспекти та концепції теплоенергетики, технології |

- виробництва, передачі, розподілу і використання енергії.*
- ПРН15** *Розуміти основні властивості та обмеження застосовуваних матеріалів, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів.*
- ПРН17** *Аргументувати і доносити судження, які відбивають інженерні рішення в сфері теплоенергетики та відповідні соціальні, екологічні та етичні проблеми до фахівців і нефахівців.*
- ПРН20** *Вміти розробляти оптимальні конструкції та експлуатаційні режими теплообмінного обладнання; оцінювати їх ефективність і загальну економічність.*

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

Для вивчення дисципліни «Теплотехнологічні процеси та установки» необхідні знання в області дисциплін, що викладалися попередньо: вища математика; фізика; технічна термодинаміка; гідрогазодинаміка; тепломасообмін; теплообмінні апарати, які використовуються при вивченні дисципліни.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Вступ до дисципліни.

Тема 1.1. Основні види промислових тепло- і масообмінних процесів і установок.

Вступ до дисципліни. Класифікація промислових тепло- і масообмінних процесів і установок. Роль тепломасообмінних і холодильних установок в сучасних технологічних процесах промислових підприємств різних галузей промисловості.

Розділ 2. Теплоносії, холодоносії сушильні та холодильні агенти.

Тема 2.1. Теплоносії

Властивості теплоносіїв. Класифікація теплоносіїв. Властивості води, водяної пари. Високотемпературні теплоносії.

Тема 2.2. Сушильні агенти.

Загальна характеристика сушильних агентів і вимоги до них. Властивості вологого повітря. Діаграми і номограми для визначення стану вологого повітря і зображення процесів з ним. Властивості, позитивні якості і недоліки топкових газів, як сушильного агенту. Співвідношення для розрахунку параметрів топкових газів. Процеси зміни стану топкових газів, їх зображення на діаграмі стану і розрахунки.

Інші сушильні агенти: насичена і перегріта водяна пара; нагріті рідини; інертні гази; перегріта пара розчинників, що їх видаляють з матеріалу. Галузі застосування.

Тема 2.3. Холодоносії та їх властивості. Холодильні агенти та холодоносії.

Властивості холодильних агентів. Класифікація холодильних агентів. Властивості аміаку, фреонів. Альтернативні хладоагенти. Холодоносії.

Розділ 3. Тепломасообмінні процеси та апарати

Тема 3.1. Рекуперативні теплообмінники.

Загальна характеристика тепломасообмінних апаратів. Класифікація теплообмінних апаратів в залежності від способу передачі теплоти, форми поверхні теплообміну, компоновки, конструкційних матеріалів та інших чинників. Каталог, стандарти, нормалі, номенклатурні збірники, атласи на апаратуру.

Конструкції кожухотрубних теплообмінних апаратів. Апарати одноходові та багатоходові, жорсткої і олого вид конструкції. Вузли кріплення трубних решіток, перегородок, фланців.

Конструкції елементних і секційних теплообмінників. Компоновка. Порівняння з кожухотрубними.

Нові компактні вискоефективні теплообмінники. Пластинчасті та спіральні теплообмінники. Випарники в схемах ТЕЦ і підприємств. Принципіальні схеми установок. Пароперетворювачі. Конструкції вертикальних випарників. Особливості циркуляції води в

випарниках. Оптимальний уявний рівень рідини в трубках і вплив його на ефективність роботи апарату.

Тема 3.2. Розрахунки рекуперативних теплообмінників.

Методика теплових і конструкторських розрахунків теплообмінних апаратів. Теплові розрахунки. Конструкторські розрахунки. Методика розрахунку ребристих теплообмінних апаратів. Конструкції оребрення. Методика розрахунку теплообміну ребер сталої товщини.

Конструкції і розрахунок пластинчастих, спіральних, занурених і зрошуваних апаратів. Пластинчасті апарати. Спіральні апарати. Занурені апарати. Зрошувані апарати.

Апарати періодичної дії. Методика розрахунку. Водонагрівачі-акумулятори з нагрівом гарячою водою, водяною парою, з електрообігрівом. Методика розрахунку.

Розділ 4. Випарні установки

Тема 4.1. Фізичні основи процесу випарювання.

Особливості випарювання води з розчинів. Способи завдання складу розчину і їх взаємозв'язок. Фізико-хімічна температурна депресія. Гідростатичний ефект. Гідродинамічна депресія.

Тема 4.2 Теплопередача в випарних апаратах.

Методики розрахунку тепловіддачі і теплопередачі в випарних апаратах різних типів. Оптимальний режим роботи випарних апаратів.

Тема 4.3. Випарні апарати. Багатоступеневі випарні установки.

Схеми і конструкції випарних апаратів. Основні конструкції випарних апаратів. Схеми багатоступеневих випарних установок. Обґрунтування вибору схем.

Тема 4.4. Розрахунки багатоступеневих випарних установок.

Основи теплових і конструкторських розрахунків багатоступеневих випарних установок. Матеріальний і тепловий баланси. Корисна і загальна різниця температур. Розподіл корисної різниці температур за ступенями. Теплові навантаження. Площі поверхні теплообміну. Конструкторські розрахунки апаратів.

Тема 4.5. Допоміжне устаткування випарних установок.

Конденсаційні пристрої випарних установок. Барометричний конденсатор і його розрахунок. Пристрої для відводу конденсату з парової камери випарного апарату. Гідравлічні колонки.

Розділ 5. Дистиляція і ректифікація

Тема 5.1. Фізико-хімічні властивості бінарних сумішей.

Фізико-хімічні властивості бінарних сумішей. Загальні відомості про дистиляцію і ректифікацію. Фізико-хімічні основи рівноваги фаз рідина-пара.

Тема 5.2. Дистиляційні установки.

Дистиляційні установки. Схема дистиляційної установки. Аналіз процесу дистиляції з використанням фазової діаграми.

Тема 5.3. Ректифікаційні установки.

Ректифікаційні установки. Схема установки. Аналіз процесу ректифікації в t, x – діаграмі. Типи і конструкції ректифікаційних колон. Методики розрахунку числа тарілок в колоні. Матеріальний і тепловий баланси ректифікації.

Розділ 6. Холодильні установки і трансформатори теплоти

Тема 6.1. Термодинамічні основи одержання холоду.

Принципові технологічні схеми холодильних установок. Класифікація холодильних установок. Принципи дії і області застосування.

Тема 6.2. Компресорні холодильні установки.

Компресорні холодильні установки. Робоча схема холодильної установки. Обладнання. Основи розрахунку.

Тема 6.3. Абсорбційні холодильні установки.

Абсорбційні холодильні установки. Робоча схема установки. Обладнання. Бінарні суміші. Абсорбер-випарювач. Генератор-конденсатор. Діаграма h, φ . Методика розрахунку основних показників абсорбційної холодильної установки.

Тема 6.4. Пароежекторні холодильні установки.

Пароежекторні холодильні установки. Схема олого видаленн холодильної установки. Аналіз процесів в Т, s – діаграмі. Обладнання. Основи розрахунку.

Тема 6.5. Трансформатори теплоти.

Трансформатори теплоти. Теплові насоси. Трансформація пари низького тиску. Механічні і струйні компресори. Хімічна трансформація теплоти.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. *Промышленные теплообменные процессы и установки [Текст]: учебник для вузов / А.М. Бакластов, В.Г. Горбенко, О.Л. Данилов [и др.] под ред. А.М. Бакластова.- М.: Энергоатомиздат, 1986. – 328 с.: ил. – 12000 экз.*
2. *Бакластов, А.М., Горбенко, В.Г., Удыма, П.Г. Проектирование, монтаж и эксплуатация теплообменных установок.- М.:Энергоиздат, 1981. – 336 с.*
3. *Промышленная теплоэнергетика и теплотехника. : справ. А.М. Бакластов, В.М. Бродянский, Б.П. Голубев [и др.]; / под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 560 с.: ил. – (Теплоэнергетика и теплотехника; Кн. 4). – 50000 экз. Библиогр.: в конце глав.*
4. *Анисимов, С.Н. Основы проектирования теплообменных аппаратов: Учебное пособие.- Симферополь: НАПКС, 2005.-185с.*
5. *Іванченко, В.В., Барвін О.І., Штонда Ю.М., Конструювання та розрахунок кожухотрубчастих теплообмінних апаратів.-Луганськ: Вид-во СЧУ ім.В.Даля.-2006.-208 с.*
6. *Врагов, А.П. Теплообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навч.посібник.-Суми: ВТД «Університетська книга», 2006.-260с.: іл. – 65. Бібліограф.: с. 229 – 230. ISBN 966 – 680 – 268 – 6.*
7. *Кулінченко, В.Р., Мирончук, В.Г. Випарювання і випарні апарати у розрахунках і конструюванні: Навч.посібник.-К.: Кондор, 2006.-392с. ISBN 996 – 8251 – 88 – 1.*
8. *Ривкин, С.Л., Александров, А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара.: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 78 с.*
9. *Павлов, К.Ф., Романков, П.Г., Носков, А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – М.: «Химия», 1986. – 740 с.*
10. *Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367с.: ил. ISBN5 – 283 – 00061 – 3.*
11. *Холодильні установки: Підручник: У двох книгах. Книга 1/ І.Г. Чумак, В.П. Чепурненко, С.Ю. Лар'янівський та ін. – К.:Либідь, 1995. – 240с. ISBN 5 - 325 – 00506 (кн. 1).*
12. *Холодильні установки: Підручник: У двох книгах. Книга 2/ І.Г. Чумак, В.П. Чепурненко, С.Ю. Лар'янівський та ін. – К.:Либідь, 1995. – 224с. ISBN 5 - 325 – 00506 – 5 (кн. 2), ISBN 5 – 325 – 00725 – 4.*
13. *Розрахунок теплообмінних апаратів [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика», освітньо-професійної програми «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження», освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр». / Укладачі: І.О. Назарова, Н.О. Притула; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,6 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 51с.*

Допоміжна література

1. *Бажан П.И. и др. Справочник по теплообменным аппаратам / П.И. Бажан, Г.Е. Каневец, В.М. Селиверстов. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.: ил. ISBN 5 – 217 – 00400 – 2*
2. *Справочник по теплообменникам: В 2 т. Т.1/ Пер.с англ., под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 560с.: ил.*

3. *Справочник по теплообменникам: В 2 т. Т.2/ Пер.с англ., под ред. О.Г. Мартыненко и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352с.: ил.*
4. *Чумак И.Г., Никульшина Д.Г. Холодильные установки. Проектирование: Учеб. Пособие для вузов. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1988. – 280с., 97 ил. – Библиогр.: 44 назв. ISBN 5 – 11 – 000254 -1*
5. *Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.:Химия, 1983. – 272с., ил.*
6. *Прядко М.О., Масліков М.О., Петренко В.П., Павленко В.І., Філоненко В.М. Основи теплотехнології цукрового виробництва. Навчальний посібник. – Вінниця: Нова Книга, 2007. – 296с. ISBN 978 – 966 – 382 – 115 – 3*
7. *Алабовский, А.Н., Удыма, П.Г. Аппараты погружного горения. – М.: Издательство МЭИ, 1994. – 289 с.*

8. Рекомендації

Сайт наукової бібліотеки НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» <http://library.kpi.ua> в розділі «Електронні ресурси», підрозділі «Загальний електронний каталог НТБ» дозволяє знайти та замовити рекомендовану літературу до навчальної дисципліни та отримати доступ до електронних ресурсів бібліотеки та роботи з ними

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	<u>Вступ до дисципліни.</u> Класифікація промислових тепло- і масообмінних процесів і установок. Роль тепломасообмінних і холодильних установок в сучасних технологічних процесах промислових підприємств різних галузей промисловості Література: [1, 2, 6] Завдання на СРС: Простудіювати виклад питань, розглянутих в лекції, пошук в Internet матеріалів за темою.
2	<u>Властивості теплоносіїв.</u> Класифікація теплоносіїв. Однофазні та багатофазні теплоносії. Теплоносії з твердою фазою. Література: [1, 2, 3], конспект. Завдання на СРС: Властивості плазми, діелектричних рідин, рідинних дисперсоїдів, пошук в Internet матеріалів за темою.
3	<u>Вологе повітря і топкові гази як сушильний агент.</u> Властивості вологого повітря. Діаграми та номограми для визначення стану вологого повітря і розрахунку процесів. Розрахунки параметрів стану топкових газів. Література: [1, 2, 3], конспект. Завдання на СРС: Повторити тему «Вологе повітря» з дисципліни «Технічна термодинаміка». Інертні гази, рідини та тверді речовини, які застосовують як сушильні агенти, пошук в Internet матеріалів за темою.
4	<u>Властивості холодоносіїв і холодильних агентів.</u> Класифікація, властивості, сфери застосування холодоносіїв. Класифікація, властивості холодильних агентів. Альтернативні холодильні агенти. Література: [1, 2, 3], конспект. Завдання на СРС: Вплив втрат холодильних агентів на оточуюче середовище та способи зменшення цього впливу, пошук в Internet матеріалів за темою.

5	<u>Загальна характеристика тепломасообмінних апаратів.</u> Класифікація теплообмінних апаратів в залежності від способу передачі теплоти, форми поверхні, матеріалів, компоновки та інших чинників. Знайомство з каталогами, стандартами, нормами на апаратуру, які є в архіві кафедри. Література: [1, 2, 3, 4], конспект. Завдання на СРС: Знайомство з рекламними проспектами на сучасні теплообмінні апарати провідних вітчизняних і іноземних фірм, які є в архіві кафедри та в бібліотеці університету.
6	<u>Конструкції кожухотрубних теплообмінних апаратів.</u> Апарати одноходові та багатоходові, жорсткої, напівжорсткої і нежорсткої конструкції. Вузли кріплення трубних решіток, фланців, кришок, перегородок. Література: [1, 3, 4, 5], конспект. Завдання на СРС: Використовуючи отримані дидактичні матеріали, проштудіювати конструкції кожухотрубних апаратів.
7	<u>Конструкції елементних, секційних, пластинчастих, спіральних теплообмінників. Випарники та пароперетворювачі.</u> Компоновки, порівняння з кожухотрубними. Нові компактні вискооефективні теплообмінники. Випарники в схемах ТЕЦ і підприємств. Конструкції випарників і пароперетворювачів. Вплив уявного рівня рідини на ефективність роботи випарника. Література: [1, 3, 4, 5], конспект. Завдання на СРС: Використовуючи отримані дидактичні матеріали, проштудіювати конструкції розглянутих теплообмінних апаратів.
8	<u>Методика розрахунків кожухотрубчастих теплообмінників.</u> Теплові, конструкторські, аеро- та гідродинамічні розрахунки та розрахунки на міцність. Розрахунки теплообмінників з оребреними поверхнями теплообміну. Література: [1, 5], конспект. Завдання на СРС: Повторити методику розрахунку теплообміну ребер сталої товщини з дисципліни «Тепломасообмін». Конструкції оребрення.
9	<u>Методика розрахунку теплообмінників довільних конструкцій.</u> Конструкторські, теплові, аеро- та гідродинамічні розрахунки пластинчастих і спіральних апаратів. Розрахунки занурених і зрошуваних апаратів. Література: [1, 3, 4, 5, 6], конспект. Завдання на СРС: Використовуючи каталоги та рекламні проспекти іноземних фірм, які є в архіві кафедри проштудіювати конструкції теплообмінників фірм «α-Laval», SVEP, APV і інших.
10	<u>Теплообмінні апарати періодичної дії.</u> Водонагрівачі-акумулятори з обігрівом гарячою водою, водяною парою, з електрообігрівом. Методики теплового та конструкторського розрахунків водонагрівачів-акумуляторів. Література: [1, 2, 3], конспект. Завдання на СРС: Розрахунок водонагрівача-акумулятора з електрообігрівом [1, 2].
11	<u>Особливості випарювання води з розчинів.</u> Випарювання, його роль і значення в техніці і житті людини. Способи завдання складу розчину і їх взаємозв'язок. Фізико-хімічна температурна та інші види депресій. Загальна і корисна різниці температур. Література: [1, 2, 6, 7]; конспект. Завдання на СРС: Повторити за дисципліною «Тепломасообмін» методику розрахунків коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні та конденсації.
12	<u>Тепловий розрахунок випарних апаратів.</u> Методики розрахунків тепловіддачі та

	теплопередачі в випарних апаратах з природною та вимушеною циркуляціями та в апаратах плівкового типу. Оптимальний тепловий режим роботи випарних апаратів. Література: [1, 2, 6, 7], конспект. Завдання на СРС: За літературою [7] проштудіювати методики розрахунків теплообміну в випарних апаратах з огляду на необхідність виконувати домашню контрольну роботу.
13	<u>Схеми і конструкції випарних апаратів і установок.</u> Класифікація випарних апаратів. Випарні апарати основних конструкцій. Схеми багатоступеневих випарних установок і обґрунтування їх вибору. Література: [1, 2, 3, 7]. Завдання на СРС: Використовуючи отриманий дидактичний матеріал, проштудіювати конструкції основних типів випарних апаратів і схем багатоступеневих випарних установок.
14	<u>Розрахунки БВУ.</u> Матеріальний та тепловий баланси випарних апаратів і БВУ. Теплові навантаження. Розподіл корисної різниці температур за ступенями. Методики розрахунків БВУ. Література: [1, 2, 7], конспект. Завдання на СРС: За вказівками до виконання самостійної роботи проштудіювати спрощену методику розрахунків БВУ.
15	<u>Допоміжне устаткування випарних установок.</u> Підігрівачі розчинів. Конденсатори. Барометричний конденсатор та його розрахунок. Пристрої для відводу конденсату з парових камер. Гідравлічні колонки. Література: [1], [7], [8]; конспект. Завдання на СРС: Використовуючи отримані дидактичні матеріали, проштудіювати конструкції допоміжного устаткування БВУ.
16	<u>Дистиляція і ректифікація.</u> Загальні відомості про дистиляцію та ректифікацію. Фізико-хімічні основи рівноваги рідина-пара. Аналіз процесу дистиляції з використанням фазової діаграми. Схема ректифікаційної установки. Аналіз процесу ректифікації в t, x-діаграмі. Матеріальний і тепловий баланси ректифікації. Конструкція колони. Методика розрахунку числа тарілок в колоні. Література: : [1, 2, 6]. Завдання на СРС: Використовуючи літературу [1, 2], опанувати аналізом процесів дистиляції та ректифікації з використанням фазових діаграм та складанням матеріального і теплового балансів ректифікації.
17	<u>Термодинамічні основи одержання холоду та трансформації теплоти.</u> Принципові технологічні схеми холодильних установок. Аналіз термодинамічного циклу одержання холоду. Області застосування і класифікація холодильних установок. Схеми холодильних установок різних типів. Компресорні холодильні установки, їх обладнання та основи розрахунку. Література: [1, 2, 6]. Завдання на СРС: Повторити тему «Цикли холодильних установок та теплових насосів» з другого кредитного модуля дисципліни «Технічна термодинаміка».
18	<u>Абсорбційні та пароежекторні холодильні установки.</u> Трансформатори теплоти. Бінарні суміші. Абсорбер – випарювач. Генератор-конденсатор. h, g - діаграма. Методика розрахунку основних показників абсорбційної холодильної установки. Аналіз процесів в пароежекторній установці в T, s – діаграмі. Основи розрахунку. Теплові помпи. Трансформація пари низького тиску. Механічні та струйні

	компресори. Хімічна трансформація теплоти. Література: [1, 2]. Завдання на СРС: Розібратися з принципами побудови h, g - діаграми і потренуватися у її використанні. Розібратися з методом хімічної трансформації теплоти.
--	--

Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять полягають у набутті студентами умінь виконувати самостійно теплові, аеро- та гідромеханічні розрахунки процесів нагріву, охолодження, випарювання при основних способах здійснення цих процесів, апаратів різного конструктивного оформлення для здійснення цих процесів, підбирати за довідниками основне і допоміжне обладнання, а також у набутті відповідного досвіду у вирішенні цих питань.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Властивості сушильних агентів. Розрахунки параметрів вологого повітря. Вологовміст. Ентальпія. Температури точки роси та мокрого термометра. Потенціал сушіння. Теплоємність. Дидактичне забезпечення – h, d – діаграми стану вологого повітря, номограми. Література: [1], [3], [8] Завдання на СРС: Повторити тему «Вологе повітря» з дисципліни «Технічна термодинаміка».
2	Властивості сушильних агентів. Розрахунки параметрів топкових (димових) газів як сушильного агенту. Перерахунки складу палива. Теплоти згоряння палив. Коефіцієнт надлишку повітря. Вологовміст. Ентальпія. Об'єми продуктів згоряння. Теплоємність. Дидактичне забезпечення – h, d - діаграми стану продуктів згоряння. Література: [1], [3], [8]. Завдання на СРС: Повторити відповідні теми дисципліни «Паливо та обладнання для його спалювання».
3 4 5	Розрахунки рекуперативних теплообмінників. Проектні теплові розрахунки теплообмінників різних типів. Кожухотрубні теплообмінники з гладкими та оребреними трубами. Спиральні та пластинчасті теплообмінники. Дидактичне забезпечення – каталоги, стандарти, нормалі на теплообмінні апарати, рекламні проспекти. Література: [1], [3], [4], [5], [8], [9], [13]; допоміжна [1, 2, 3]. Завдання на СРС: Повторити методики розрахунків теплопередачі через оребрену стінку та рекуперативних теплообмінних апаратів з дисципліни «Тепломасообмін».
6 7	Розрахунки рекуперативних теплообмінників. Конструкторські розрахунки теплообмінників різних типів. Розрахунки розмірів елементів теплообмінників та їх компоновок. Дидактичне забезпечення – роздатковий матеріал з зображеннями конструкцій теплообмінних апаратів і їх елементів; каталоги; стандарти; рекламні проспекти іноземних виробників теплообмінників. Література: [1, 3, 4, 5, 8, 9, 13]; допоміжна [1, 2, 3]. Завдання на СРС: Повторити методики розрахунків теплопередачі через оребрену стінку та рекуперативних теплообмінних апаратів з дисципліни «Тепломасообмін».

8 9	Гідромеханічні розрахунки та розрахунки на міцність теплообмінників різних типів. Розрахунки гідравлічного опору тертя при ізотермічній та неізотермічній течії теплоносіїв в різних умовах течії. Розрахунки місцевих опорів при течії теплоносіїв. Розрахунки на міцність елементів теплообмінних апаратів (обичайок, кришок, трубних дошок, фланцевих з'єднань, опор, тощо). Дидактичне забезпечення – технічні умови та ДСТУ на розрахунки, каталоги на теплообмінники. Література: [1], [2], [3], [9], [10]. Завдання на СРС: ознайомитися за каталогом на пластинчасті теплообмінники з методикою їх гідравлічного розрахунку.
10	Розрахунок водонагрівача – акумулятора (тепловий, конструкторський, гідравлічний). Література: [1], [2] Завдання на СРС: виконати в позанавчальний час розрахунок водонагрівача відповідно до завдання домашньої контрольної роботи.
11	Фізичні основи процесу випарювання. Склад розчину, характеристики складу. Депресії та розрахунки температурних депресій, загальних і корисних температурних напорів, теплових навантажень корпусів багатоступеневої випарної установки (БВУ). Література: [7], [1], [2], [9]. Завдання на СРС: повторити матеріал тем «Конденсація» та «Кипіння» з другого кредитного модуля дисципліни «Тепломасообмін».
12	Розрахунки тепловіддачі при кипінні розчинів у великому об'ємі та в трубах, а також при конденсації гріючих пари. Розрахунки коефіцієнтів теплопередачі у гріючих камерах випарних апаратів. Оптимальний рівень розчину в трубах гріючих камер. Навантажувальні характеристики БВУ. Дидактичне забезпечення – комплект рисунків та схем випарних апаратів різних конструкцій, БВУ і їх допоміжного обладнання. Література: [1], [2], [3], [7], [9], [10]. Завдання на СРС: розібратися з конструкціями випарних апаратів і схемами випарних установок, наведеними в дидактичних матеріалах.
13 14	Приклад розрахунку 3-х ступеневої випарної установки для випарювання розчину азотнокислого натрію. Література: [1], [7], [8], [9]. Завдання на СРС: розібратися з конструкціями допоміжного обладнання випарних установок (підігрівачі розчинів, сепаратори пари, конденсатори, гідравлічні колонки).
15 16	Приклад розрахунку 4-х ступеневої випарної установки для випарювання цукрового розчину. Література: [1], [7], [8], [9], допоміжна [6], Завдання на СРС: Виконати в позанавчальний час розрахунок 4-х ступеневої випарної установки для цукрового розчину, який є складовою домашньої контрольної роботи, і оформити його з використанням ПЕОМ відповідно до вимог роботи.
17	Термодинамічні основи одержання холоду. Розрахунки циклів холодильних

	установок. Література: [1], [6], [9], [11], [12], допоміжна [4]. Завдання на СРС:
18	Компресорні холодильні установки. Приклад розрахунку одноступеневої компресорної холодильної установки. Вибір компресорного агрегату. Література: [1], [6], [9], [11], [12], допоміжна [4], [5] Завдання на СРС: Виконати в позанавчальний час розрахунку циклу та холодильного компресора одноступеневої холодильної установки з регенеративним перегрівом пари хладагента, які є складовими домашньої контрольної роботи, і оформити їх з використанням ПЕОМ відповідно до вимог роботи.

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Тема 1. Основні види промислових тепло – та масообмінних процесів і установок. Пошук в Internet літератури з питань, розглянутих в лекції.	1
2	Тема 2.1. Теплоносії. Пошук в Internet літератури про властивості новітніх теплоносіїв, які не розглядалися в лекціях.	2
3	Тема 2.2. Холодоносії. Пошук в Internet літератури про властивості новітніх холодоносіїв, які не розглядалися в лекціях.	2
4	Тема 2.3. Сушильні агенти. Пошук в Internet літератури про діаграми станів сушильних агентів при змінних тисках. Діаграма Ярла Саліна.	1
5	Тема 2.4. Холодильні агенти. Пошук в Internet літератури про вплив втрат при використанні сучасних холодильних агентів на оточуюче середовище.	2
6	Тема 3.1. Рекуперативні теплообмінники. За допоміжною літературою [1, 2, 3] ознайомитися з конструкціями теплообмінників, які не розглядалися на лекціях.	3
7	Тема 3.2. Розрахунки рекуперативних теплообмінників. За базовою [10] та допоміжною [1, 2, 3] літературою ознайомитися з особливостями розрахунків теплообмінників, конструкції яких не розглядалися в лекціях.	5
8	Тема 4.1. Фізичні основи процесу випарювання. За допоміжною літературою [6] на прикладі випарювання цукрового розчину ознайомитися з особливостями випарювання порівняно з кипінням однокомпонентних рідин.	3
9	Тема 4.2. Теплопередача в випарних апаратах. За базовою [10] та допоміжною [6] літературою доповнити матеріал лекцій щодо особливостей теплопередачі в випарних апаратах порівняно з рекуперативними теплообмінниками.	3
10	Тема 4.3. Випарні апарати. Багатоступеневі випарні установки (БВУ). За базовою [7] та допоміжною [6] літературою доповнити матеріал лекцій щодо особливостей конструкцій випарних апаратів та схем БВУ.	3

11	Тема 4.4. Розрахунки БВУ. За базовою [7] та допоміжною [6] літературою доповнити матеріал лекцій та методичних вказівок щодо методик розрахунків БВУ відповідно до завдання ДКР.	3
12	Тема 4.5. Допоміжне устаткування випарних установок. За базовою [1, 2, 6, 7] та допоміжною [5, 6] літературою доповнити матеріал лекцій відомостями про конструкції підігрівачів розчинів, конденсаторів, конденатовідвідників, гідроколонок, сепараторів пари, запірно-регулюючої арматури.	2
13	Тема 5.1. Фізико-хімічні властивості бінарних сумішей. За базовою [1, 2] та допоміжною [5] літературою доповнити матеріал лекцій матеріалом розрахунків парорідинної рівноваги. Фазові діаграми та діаграми рівноваги.	2
14	Тема 5.2. Дистиляційні установки. За базовою [1, 2] та допоміжною [5] літературою доповнити матеріал лекцій конструкціями перегонних установок і апаратів, які реалізують поступову, одноразову та багаторазову перегонку.	2
15	Тема 5.3. Ректифікаційні установки. За базовою [1, 2] та допоміжною [5] літературою доповнити матеріал лекцій конструкціями ректифікаційних колон різних типів та допоміжних апаратів ректифікаційних установок.	2
16	Тема 6.1. Термодинамічні основи одержання холоду. За матеріалом другого кредитного модуля дисципліни «Технічна термодинаміка» повторити матеріал розділу «Цикли холодильних установок та трансформаторів теплоти».	2
17	Тема 6.2. Компресорні холодильні установки. За базовою [1, 2, 11, 12] та допоміжною [4, 5] літературою доповнити матеріал лекцій про компресорні холодильні установки.	2
18	Тема 6.3. Абсорбційні холодильні установки. За базовою [1, 2, 11, 12] та допоміжною [4, 5] літературою доповнити матеріал лекцій про абсорбційні холодильні установки.	2
19	Тема 6.4. Пароелектричні холодильні установки. За базовою [1, 2, 11, 12] та допоміжною [4, 5] літературою доповнити матеріал лекцій про компресорні холодильні установки.	2
20	Тема 6.5. Трансформатори теплоти. За базовою [1, 2, 11, 12] та допоміжною [4, 5] літературою доповнити матеріал лекцій про компресорні холодильні установки.	2

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Зазначається система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- на заняттях дозволяється використання засобів зв'язку для пошуку інформації та виконання індивідуальних завдань;
- захист практичних завдань відбувається на практичному занятті у виділений для цього викладачем час;
- штрафні та заохочувальні бали:
 - відсутність на практичному занятті без поважної причини- мінус 5 балів;
 - несвоєчасне (пізніше ніж на тиждень) подання МКР- мінус 5 балів;
 - участь в олімпіаді з дисципліни, розробка ситуаційних вправ, тестових завдань та задач з дисципліни, виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни надається від 5 до 10 заохочувальних балів.

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

Види контролю знань студентів з дисципліни:

- відповіді на лекційних заняттях;
- відповіді на практичних заняттях;
- виконання завдань СРС;
- виконання МКР (дві частини);
- виконання РГР;
- відповідь на екзамені – максимально 40 балів.

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

- 1) чотири відповіді на практичних заняттях і виконання домашніх завдань; із розрахунку, що на кожному практичному занятті у середньому оцінюються 4 студенти при численності групи 16 осіб ($\frac{18\text{пр.} \cdot 4\text{ст.}}{16\text{ст.}} \approx 4$ відп.).
- 2) модульну контрольну роботу (дві частини тривалістю по одній академічній годині кожна);
- 3) розрахунково-графічну роботу;
- 4) відповідь на екзамені.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на лекційних заняттях

Ваговий бал — 0,5. Максимальна кількість балів аспіранта на всіх заняттях: $r_1 = 0,5 \text{ бали} \times 18 = 9 \text{ балів}$.

2. Робота на практичних заняттях

За умови гарної підготовки і активної роботи на практичному занятті – 1,5 бали. Одному або двом кращим студентам на кожному практичному занятті може додаватися як заохочування 0,5 бали. Зниження показника за неохайне оформлення записів – 0,5 бала, за несвоєчасне виконання домашнього завдання – 1 бал.

Критерії оцінювання роботи на практичних заняттях та при виконанні домашніх завдань:

0 балів – відсутність на практичному занятті без поважних причин незадовільна відповідь при опитуванні; невиконання домашнього завдання (відсутність звіту).

1 бал – задовільна відповідь при опитуванні; наявність звіту з виконаних домашнього завдання та завдання практичних занять.

1,5 бали – добра відповідь при опитуванні; наявність зазначених вище звітів та їх успішний захист.

На протязі семестру студент зобов'язаний набрати не менше (1 бал $\times$ 4 відповіді) + 1 бал $\times$ (18 – 2) зан. = 20 балів і самостійно опрацювати матеріал пропущених занять.

3. Модульна контрольна робота (МКР)

Проводиться дві частини МКР.

Ваговий бал однієї частини модульної контрольної – 9. Максимальна кількість балів за дві частини контрольної роботи: 9 балів $\times$ 2 роб. = 18 балів.

Критерії оцінювання:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 8-9 балів. Студент демонструє міцні знання основних положень навчального матеріалу та необхідний рівень умінь і навичок.
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 7-8 балів;

- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 5-6 балів. Студент орієнтується в навчальному матеріалі, але допускає неточності;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам на «задовільно» – 0-4 бали. Відсутність на занятті при проведенні модульної контрольної роботи або незадовільна оцінка з цієї роботи (незасвоєння основних положень навчального матеріалу та нездатність застосовувати їх на практиці).

Зниження показника за неохайне оформлення МКР – 1 бал.

За виконання модульної контрольної студент зобов'язаний набрати не менше 10 балів.

4. Розрахунково-графічна робота.

Розрахунково-графічна робота складається з трьох розділів, вагові бали яких відповідно дорівнюють 9, 14 та 4. Загальний ваговий бал домашньої контрольної роботи: $9 + 14 + 4 = 27$.

Критерії оцінювання якості виконання та захисту роботи мають такі значення для кожного з розділів відповідно:

Критерії оцінювання		Бали
Розділи роботи		
I	II	III

Невиконання контрольної роботи, результати розрахунків помилкові, не відповідають фізичному змісту задачі; оформлення роботи не відповідає вимогам нормативних документів; що унеможливорює допуск до захисту; студент не володіє матеріалом 0 – 5 0 – 7 0 – 3

Помилки в розрахунках відсутні або такі, що не впливають суттєво на кінцевий результат; робота оформлена відповідно до вимог; студент орієнтується в суті виконаної ним роботи і задовільно відповідає на запитання при захисті роботи 5 8 3

Помилки в розрахунках відсутні; робота гарно оформлена відповідно до вимог; студент добре відповідає на запитання при захисті роботи 6 10 3

Помилки в розрахунках відсутні; робота ретельно оформлена відповідно до вимог; студент добре відповідає на питання, які вимагають від нього творчого використання отриманих при виконанні роботи знань 9 14 3

Критерії оцінювання:

- «відмінно», виконані всі вимоги до роботи – 23-27 балів;
- «добре», виконані майже всі вимоги до роботи, або є несуттєві помилки – 19-22 балів;
- «задовільно», є недоліки щодо виконання вимог до роботи і певні помилки – 16-18 балів;
- «незадовільно», не відповідає вимогам до задовільно – 0 – 15 балів.

Зниження показника за неохайне оформлення роботи – 1 – 2 бали.

За виконання і захист домашньої контрольної роботи студент зобов'язаний набрати не менше 12 балів.

За несвоєчасне (відповідно до графіка) без поважних причин виконання та захист контрольної роботи нараховуються три штрафні бали (- 3 бали).

Максимальна сума балів стартової складової дорівнює $R_s = 60$ балів.

5. Умови позитивної проміжної атестації

Для отримання «зараховано» з першої проміжної атестації (8 тиждень) студент має набрати не менше, ніж $(1 \text{ бал} \times 1 \text{ відповідь} + 1 \text{ бал} \times 7 \text{ зан.} + 5 \text{ балів} \times 1 \text{ МКР}) = 13$ балів. «Ідеальний» студент може отримати $8 + 1,5 \times 7 + 9 = 29$ балів.

Для отримання «зараховано» з другої проміжної атестації (14 тиждень) студент має набрати не менше ніж $(1 \text{ бал} \times 2 \text{ відп.} + 1 \text{ бал} \times 13 \text{ зан.} + 5 \text{ балів} \times 2 \text{ МКР}) = 25$ балів. «Ідеальний» студент може отримати $(8 + 1,5 \times 2 + 1,5 \times 13 + 9 \times 2) = 49,5$ балів.

6. Умови допуску до екзамену

Необхідною умовою допуску студента до екзамену є: наявність не менше 20 балів, набраних студентом за роботу на практичних заняттях та при виконанні домашніх завдань; наявність не менше 10 балів за виконання двох модульних контрольних робіт; не менше 16 балів за виконання, позитивний захист та зарахування домашньої контрольної роботи.

5. Відповіді на екзамені

Екзамен проводиться у письмово-усній формі. Екзаменаційний білет складається з трьох теоретичних питань. Перелік питань наведений у додатку до силабусу дисципліни. Перші два теоретичних питання оцінюються по 13 балів, а третє – 14 балів. Тобто, максимальна кількість балів за виконання завдання $13+13+24 = 40$ балів.

Ваговий бал екзамену $R_E=40$ балів.

Критерії екзаменаційного оцінювання теоретичних питань:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації). Студент демонструє повні і міцні знання навчального матеріалу в заданому обсязі, необхідний рівень умінь і навичок, правильно і обґрунтовано приймає необхідні рішення в різних нестандартних ситуаціях – 9 -10 балів;
- «дуже добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації). Студент засвоює в повному обсязі робочу програму кредитного модуля, уміє використовувати знання для вирішення стандартних завдань – 7 – 8 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% відсотків потрібної інформації, незначні неточності). Студент засвоїв основний теоретичний матеріал, уміє використовувати знання для вирішення стандартних завдань, але допускає неточності, що не є перешкодою для подальшого навчання – 5 – 6 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки), Студент засвоїв основний теоретичний матеріал, але дає неповні відповіді на теоретичні запитання, при застосуванні знань для вирішення стандартних завдань допускає помилки, які може виправити після додаткових запитань або зауважень викладача – 3 – 4 бали;
- «достатньо», неповна відповідь (не менше 50% потрібної інформації та деякі помилки). Студент слабо засвоїв основний теоретичний матеріал, дає неповні відповіді на теоретичні запитання, при застосуванні знань для вирішення стандартних завдань допускає помилки, які може виправити після додаткових запитань або зауважень викладача – 1 – 2 бали.
- «незадовільно», незадовільна відповідь, незасвоєння окремих розділів робочої програми кредитного модуля, нездатність застосовувати знання на практиці, що робить неможливим розв'язування найпростіших стандартних завдань; потрібна додаткова робота над матеріалом кредитного модуля – 0 балів.

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_d):

Сума вагових балів контрольних заходів в семестрі (стартовий рейтинг) складає:

$$R_i = r_1 + r_2 + r_3 + r_4.$$

де R_i — рейтингові або вагові бали за кожний вид робіт з дисципліни.

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_C = 9+6+35+10 = 60$ балів.

Екзаменаційна складова R_E шкали дорівнює: $R_E = 40$ балів.

Таким чином, максимальна кількість балів за рейтинговою шкалою з дисципліни складає

$$R_D = R_C + R_E = 60 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
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

За рішенням кафедри, згідно Тимчасового регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі (Наказ № 7/86 від 08.05 2020 року), допускається застосовувати підхід щодо виставлення оцінки з кредитного модуля «автоматом» шляхом пропорційного

перерахунку стартових балів у підсумкові за 100-бальною шкалою. При цьому обов'язковим залишається виконання студентом умов допуску до екзамену. Студентам, які набрали фактичний стартовий рейтинг не менший, ніж 0,9 від максимально можливого (тобто $R_c \geq 54$), екзаменатор може запропонувати виставити оцінку «Дуже добре». Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

Переведення стартових балів у підсумкові здійснюється за формулою

$$R = 60 + \frac{40 \cdot (R_i - R_D)}{(R_c - R_D)},$$

де R – оцінка за 100-бальною шкалою;

R_i – сума балів, набраних студентом продовж семестру;

R_c – максимальна сума вагових балів контрольних заходів продовж семестру;

R_D – бал допуску до екзамену.

Студенти, які хочуть підвищити оцінку з кредитного модуля, виконують екзаменаційну роботу. При цьому переведення стартових балів у підсумкові не здійснюється.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено к.т.н., доц. Назарова Ірина Олександрівна

Ухвалено кафедрою теоретичної і промислової теплотехніки (протокол № 16 від 23.06.2020 р.)

Погоджено Методичною комісією теплоенергетичного факультету (протокол № 10 від 24.06.2020р.)