

Кафедра харчових технологій та екології

СИЛАБУС

Тепломасообмін в харчовій промисловості (ВК6)

Тип дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Мова викладання	українська
Рік навчання та семестр	2 курс, 3, 4 семестр за Освітньо-професійною програмою «Харчові технології та інженерія», 2023 р.
Викладач (-і)	Іваненко Костянтин Миколайович, доцент, кандидат технічних наук
Профайл викладача (-ів)	http://ht.stu.cn.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=8&Itemid=5
Контакти викладача	sapr121@ukr.net

2. Анотація курсу.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є система знань щодо основних положень, принципів і методів тепломасообміну, практичних навичок у процесі розв'язування задач, пов'язаних з передачею теплової енергії.

3. Мета та цілі курсу.

Мета навчальної дисципліни полягає в наданні знань щодо використання методів математичного моделювання, розв'язування інженерних задач з розрахунку теплових і термодинамічних процесів в тепломасообмінних агрегатах, які використовуються в харчовій промисловості.

Під час вивчення дисципліни ЗВО має набути або розширити наступні загальні (ЗК) фахові (ФК) компетентності, передбачені освітньою програмою:

ЗК 6. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ФК 2. Здатність управляти технологічними процесами з використанням технічного, інформаційного та програмного забезпечення.

ФК 7. Здатність обирати та експлуатувати технологічне обладнання, складати апаратурно-технологічні схеми виробництва харчових продуктів.

3. Результати навчання

Під час вивчення дисципліни ЗВО має досягти або вдосконалити наступні програмні результати навчання (ПРН), передбачені освітньою програмою:

ПРН 3. Уміти застосовувати інформаційні та комунікаційні технології для інформаційного забезпечення професійної діяльності та проведення досліджень прикладного характеру.

ПРН 4. Проводити пошук та обробку науково-технічної інформації з різних джерел та застосовувати її для вирішення конкретних технічних і технологічних завдань.

4. Обсяг курсу – 8 кредитів ECTS (240 годин)

Вид заняття	Загальна кількість годин
Лекції	36
Лабораторні заняття	24
Самостійна робота	180

Форма проведення занять – лекційні, лабораторні заняття (дослідження принципів роботи апаратів), самостійна робота – з використанням системи дистанційного навчання, літератури, відеоматеріалів.

5. Пререквізити – необхідні обов'язкові попередні модулі (навчальні дисципліни): “Вища математика”, “Хімія в харчових технологіях”.

6. Тематика курсу.

Змістовий модуль 1. Основні закономірності тепломасообміну

Тема 1. Основні закономірності масообміну Теплопередача.

Способи переносу теплоти. Тепловий потік та його густина; температурне поле; градієнт температур. Закон теплопровідності Фур'є; термічний опір одно- та багатошарової стінки. Диференційне рівняння теплопровідності для рухомого середовища та твердого тіла. Узагальнене одновимірне рівняння теплопровідності та його часткові випадки. Умови однозначності при рішенні задач теплопровідності. Граничні умови при рішенні задач теплопровідності. Рівняння Фур'є-Кірхгофа для стаціонарної теплопровідності та його часткові випадки.

Тема 2. Теплопередача через циліндричну одношарову та багатошарову стінку.

Вплив зміни коефіцієнта теплопровідності на стаціонарний розподіл температур у плоскій стінці. Стаціонарний перенос теплоти в циліндричній стінці. Стаціонарний перенос теплоти в сферичній стінці. Термічно тонкі тіла; зміна температури у часі у тілі довільної форми. Часткові рішення для оцінки динаміки температури в термічно тонких тілах різної форми. Рішення задач нестаціонарної теплопровідності термічно масивних тіл; вплив чисел Ві та Fo на температурне поле у пластині. Види конвекції та конвективного теплообміну; формування і структура прикордонного шару. Рівняння Ньютона-Рихмана; фактори, що визначають інтенсивність конвективного переносу теплоти.

Тема 3. Тепловіддача та основи теплопровідності

Елементи теорії подібності; числа та теореми подібності. Числа гідродинамічної подібності та їх фізичний смисл. Узагальнене рівняння подібності тепловіддачі. Числа теплової подібності; визначальні параметри. Теплообмін при вільній конвекції у великому об'ємі. Теплообмін при вільному русі у обмеженому просторі. Теплообмін при подовжньому обтіканні труб.

Тема 4. Вимушена конвекція

Теплообмін при поперечному обтіканні труби. Теплообмін при поперечному обтіканні пучків труб. Теплообмін при обтіканні плоскої поверхні. Механізм процесу кипіння та його види; стадії пароутворення. Умови існування парової бульбашки та її мінімальний радіус. Швидкість зростання парових бульбашок; число Якоба. Сили, що діють на парову бульбашку, та її відривний діаметр. Крива кипіння; кризи кипіння.

Тема 5. Розрахунок теплового потоку при радіаційному випромінюванні.

Рівняння тепловіддачі при бульбашковому кипінні у великому об'ємі. Бульбашкове кипіння при вимушеній конвекції. Характеристика та види процесів конденсації. Рівняння подібності тепловіддачі при конденсації пари. Вплив на тепловіддачу при конденсації різних факторів. Схема процесу переносу енергії тепловим випромінюванням; носії променевої енергії. Види теплового випромінювання.

Змістовий модуль 2. Тепло- та масообмінні апарати

Тема 6. Розрахунок рекуператора.

Теплопередача крізь стінку; коефіцієнт та термічний опір теплопередачі. Шляхи інтенсифікації теплопередачі; теплова ізоляція. Призначення, різновиди та принцип роботи теплообмінних апаратів. Рівняння теплового балансу рекуперативного теплообмінника; визначення необхідної поверхні теплообміну.

Тема 7. Розрахунок конденсатора.

Кількість речовини. Молярна маса. Що таке тиск, як він визначається. Будова й властивості твердих тіл. Теплові явища. Термодинамічна рівновага. Способи вимірювання температури. Внутрішня енергія тіл.

Тема 8. Побудова кривих кінетики сушіння та швидкості сушіння.

Аналіз процесу. Основи тепломасообміну в конвективних сушарках. Теплоємність. Ізохорний процес Ізотермічний процес Ізобарний процес Адіабатний процес Політропний процес Модель ідеального газу Пароутворення.

Тема 9. Основи розрахунку випарних установок з центральною циркуляційною трубою.

Термодинамічна систем та її основні параметри Кількість речовини. Молярна маса Закон Авогадро Суміш газів Закони ідеальних газів тиск газу. Парціальний тиск Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу. Рівняння Менделєєва-Клапейрона. Пароутворення й конденсація. Кипіння Насичена й ненасичена пара. Діаграми водяної пари Вологість повітря. Точка роси. Методи вимірювання вологості повітря. Властивості рідин. Поверхневий натяг рідини. Змочування. Капілярні явища.

Тема 10. Визначення основних конструктивних параметрів ректифікаційних колон.

Способи передачі теплоти Термодинамічна рівновага Температура. Способи вимірювання температури Внутрішня енергія тіл. Способи зміни внутрішньої енергії тіла Робота і кількість теплоти. Робота термодинамічного процесу. Теплоємність. Ізобарна та ізохорна теплоємності. Теплоємність суміші Перший та другий закони термодинаміки. Цикл Карно Необоротність теплових процесів Холодильна машина. Цикли холодильних машин T-s діаграм .Вологе повітря.Ступень сухості та ступінь вологості Діаграми вологого повітря Насичена та ненасичена водяна пара Перегріта водяна пара

Змістовий модуль 3. Теплові процеси

Тема 12. Основні закономірності теплообміну в харчовій апаратурі.

Задачі та способи теплової обробки харчових продуктів і матеріалів. Рушійна сила теплових процесів. Процеси нагрівання та охолодження. Теплоносії. Види теплообміну. Рівняння передачі теплоти в процесі конвекції, теплопровідності та теплового випромінення. Рівняння теплопередачі. Основні критерії теплової подібності. Критеріальні рівняння та аналіз процесів під час вільного конвективного теплообміну, вимушеної конвекції за умови ламінарного та турбулентного рухів.

Тема 13. Електрофізичні методи обробки харчових продуктів.

Сутність електрофізичних методів обробки харчових продуктів: нагрівання ІЧ-випромінюванням, вплив ВЧ та НВЧ полів, комбіновані методи.

Тема 14. Теплообмінні апарати для нагрівання та охолодження.

Класифікація теплообмінників. Будова та принцип дії поверхневих теплообмінників. Основи розрахунку теплообмінної апаратури. Визначення поверхні нагріву, коефіцієнту теплопередачі, середньої різниці температур. Гідравлічний і механічний розрахунки теплообмінників. Напрямки удосконалення теплообмінних апаратів.

Тема 15. Теплові процеси зі зміненням агрегатного стану.

Теплові процеси зі зміненням агрегатного стану. Рівняння передачі теплоти при конденсації пари, кипінні рідини, при заморожуванні. Фізичні основи плавлення та твердіння.

Конденсація. Методи конденсації пари та газів. Матеріальний і тепловий баланси конденсації. Поверхневі конденсатори змішування. Принципова будова та основи розрахунку.

Тема 16. Випарювання.

Фізична суть процесів кипіння та випарювання. Випарювання. Застосування процесів випарювання в харчових виробництвах. Фізична суть і апаратне оформлення процесу випарювання. Випарювання під вакуумом. Матеріальний і тепловий баланси випарювання. Багатокорпусні випарювальні установки, принципова будова основних типів випарювальних апаратів.

Тема 17. Процеси охолодження, заморожування, розморожування

Заморожування. Призначення та закономірності процесів охолодження та заморожування. Теплообмін при охолодженні та заморожуванні, способи його здійснення. Розрахунок процесів охолодження. Матеріальний та тепловий баланси. Типи та будова апаратів для охолодження та заморожування, фрізери, морозильні та скороморозильні апарати.

Розморожування. Суть, теорія процесу. Будова апаратів для розморожування продуктів.

Тема 18. Специфічні теплові процеси. Варення.

Суть і призначення процесу варення. Класифікація способів варки. Теплообмінні процеси при різних способах варки. Теплофізичні закономірності процесу варки. Зовнішній теплообмін при різних видах варки. Основні типи апаратів для варки періодичної та безперервної дії та елементи їх розрахунку.

Тема 19. Специфічні теплові процеси. Смаження.

Класифікація та фізична суть прийомів смаження. Визначення теплового навантаження та коефіцієнту тепловіддачі в процесах смаження. Апарати для смаження безперервної та періодичної дії. Класифікація, конструктивна будова та елементи розрахунку. Комбіновані способи теплової обробки (тушіння, запікання та ін.).

Тема 20. Специфічні теплові процеси. Пастеризування. Стерилізація.

Визначення, суть та теоретичні основи процесу пастеризування. Закон Пастера. Режими теплової пастеризації. Апаратурне оформлення процесу пастеризації. Нетеплові способи пастеризації.

Визначення, суть процесу стерилізування. Теплова стерилізація. Основні параметри, які характеризують процес: температура, час, тиск. Ефективність стерилізації. Стерилізація продуктів у тарі та потоці. Безпосереднє нагрівання продукту парою. Стерилізатори періодичної та безперервної дії. Тепловий баланс.

Тема 21. Інтенсифікація теплових процесів.

Регенерація теплоти. Інтенсифікація теплових процесів. Основні напрями удосконалення теплових процесів. Методи підвищення коефіцієнту теплопередачі і середньої різниці температур, регенерація (рекуперація) теплоти в теплообмінних апаратах. Суть процесу та його значення для економії теплової енергії. Способи регенерації та принципові схеми регенераторів.

Змістовий модуль 6. Масообмінні процеси

Тема 22. Основні закономірності масоперенесення.

Класифікація процесів масообміну. Масопередача та масовіддача. Суть процесу дифузії. Молекулярна та турбулентна дифузії. Подібність теплових та масообмінних процесів. Основні теорії та механізм процесів масопереносу. Дифузійні критерії подібності та критеріальні рівняння масообміну. Термодифузія.

Тема 23. Сорбційні процеси.

Характеристика та фізичні основи процесу абсорбції. Галузь застосування абсорбції в харчових виробництвах. Закон Генрі. Рушійна сила процесу абсорбції. Апаратурне оформлення процесу.

Адсорбція. Фізична суть процесу адсорбції. Види адсорбції. Стисла характеристика адсорбентів, які застосовуються в харчових виробництвах. Матеріальний баланс процесу адсорбції. Апаратурне оформлення процесу. Десорбція та хемосорбція.

Тема 24. Теоретичні основи процесу сушіння.

Загальна характеристика процесу сушіння, його значення мета. та фізична суть. Способи зневоднення. Властивості вологих матеріалів. Види зв'язку вологи з матеріалом. Рівноважна вологість матеріалу.

Діаграма вологого повітря та побудова в ній процесів сушіння. Матеріальний та тепловий баланси сушіння. Основні апарати для сушіння та принцип їх дії.

Тема 25. Спеціальні та перспективні методи сушіння.

Вологопровідність та термовологопровідність. Кінетика сушіння та рівняння швидкості сушіння. Спеціальні методи сушіння.

Тема 26. Екстрагування в системі рідина-рідина, рідина-тверде тіло.

Процеси екстракції в харчовій промисловості. Фізична суть процесу екстракції. Механізм екстракції в системі «тверде тіло – рідина». Внутрішня та зовнішня дифузії та їх вплив на масоперенос. Вплив термодифузії на процес екстракції. Матеріальний баланс екстракції. Апарати для проведення процесу екстракції.

Механізм процесу екстрагування в системі рідина-рідина та використання в харчовій промисловості. Способи і апарати для проведення процесу екстрагування в системі рідина-рідина.

Тема 27. Перегонка та ректифікація.

Фізична суть процесів перегонки та ректифікації. Бінарні та багатокомпонентні суміші. Види перегонки. Основні закони перегонки. Апарати для проведення процесів дистиляції та ректифікації, галузь їх застосування в харчових виробництвах.

Тема 28. Кристалізація та розчинення.

Сутність процесу кристалізації, галузь застосування. Механізм та кінетика процесу. Матеріальний баланс процесу. Способи кристалізації та кристалізатори.

Фізична суть та призначення процесів розчинення та набухання в харчових виробництвах. Розчинення газів в рідинах, взаємна розчиненість рідин. Вплив температури на розчиненість. Процеси набухання харчових продуктів.

Теми лабораторних занять.

Лабораторна робота №1. Визначення теплопровідності сипких матеріалів в стаціонарному режимі методом кулі

Лабораторна робота №2. Визначення теплоємності та теплопровідності сипких матеріалів у регулярному режимі

Лабораторна робота №3. Комплексне визначення теплофізичних характеристик вологих матеріалів

Лабораторна робота №4. Дослідження тепловіддачі за вільним рухом повітря

Лабораторна робота №5. Механічні процеси. Змішування та поділ сипких матеріалів. Сортування

Лабораторна робота №6. Теплові процеси. Основні закономірності теплообміну в харчовій апаратурі

Лабораторна робота №7. Масообмінні процеси. Теоретичні основи процесу сушіння

Лабораторна робота №8. Масообмінні процеси. Екстрагування в системі рідина-тверде тіло

Тематика самостійної роботи.

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Загальні теоретичні основи тепломасообміну в харчовій промисловості	30
2	Гідродинамічні процеси та апарати	30
3	Теплові процеси та апарати	30
4	Масообмінні процеси та апарати	30
5	Механічні процеси	30
6	Теплообмінні апарати для нагрівання та охолодження	30
Разом		180

7. Система оцінювання та вимоги

Загальна система оцінювання курсу	Оцінювання знань ЗВО здійснюється відповідно до Положення про поточне та підсумкове оцінювання знань здобувачів вищої освіти в Національному університеті «Чернігівська політехніка». ЗВО може набрати до 75% підсумкової оцінки за виконання всіх видів робіт, що виконуються протягом семестру і до 25% підсумкової оцінки – на екзамені.
Лабораторні заняття	Підготовленість до виконання ЛР (0,5 б×8 ЛР=4 б) Самостійність та своєчасність виконання лабораторних робіт (1 б×8 ЛР=8 б) Оформлення звіту з виконання ЛР відповідно до вимог та захист ЛР перед викладачем (4 б×8 ЛР=32 б) Усне/письмове експрес-опитування під час ЛР (1 б×8 ЛР=8 б)
Модулі	Відповіді на тестові питання в системі MOODLE (3 семестр) – 2 модулі по 11 б і 12 б відповідно. Всього за модулі 75 балів.
Умови допуску до підсумкового контролю	Умовою допуску до екзамену є виконання всіх видів навчальної роботи передбачених даною робочою програмою – захист усіх лабораторних робіт, які виконувались у поточному семестрі, оформлення звіту з виконання лабораторних робіт відповідно до стандартів, проходження модульних контролів (3 семестр).
Підсумковий контроль	Підсумковий контроль (екзамен) оцінюється максимум в 25 бали. В залежності від виду роботи (офлайн або онлайн). В дистанційній формі в системі MOODLE – відповіді на тестові запитання, або в аудиторній формі за екзаменаційними білетами.
Загальна оцінка	A = 90-100 балів, B = 85-89 балів, C = 75-84 балів, D = 70-74 балів, E = 60-69 балів, FX – 0-59 балів

Шкала оцінювання результатів навчання

Оцінка в балах	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою (диференційований залік)	
		для екзамену (диференційованого заліку), курсового проєкту (роботи), практики, атестації	для заліку
90 – 100	A (відмінно)	відмінно	зараховано
82-89	B (дуже добре)	добре	
75-81	C (добре)		
66-74	D (задовільно)	задовільно	
60-65	E (достатньо)		
0-59	FX (незадовільно)	незадовільно з можливістю повторного складання	незараховано з можливістю повторного складання

8. Політика курсу

До заліку або іспиту допускається здобувач вищої освіти, який виконав усі передбачені види робіт (лабораторні завдання, розрахункову роботу, перевірочні поточні контрольні роботи) і набрав не менше 25 балів за семестр за усі види робіт.

Політика відпрацювання. Лабораторні заняття, які здобувач пропустив, відпрацьовуються шляхом виконання індивідуальних завдань, які видає викладач здобувачу за темою пропущеного заняття.

Політика перезарахування. Курс «Тепломасообмін в харчовій промисловості» може бути перезарахований, якщо здобувач вивчав цей курс (або подібний курс, що формує передбачені

курсом «Тепломасообмін в харчовій промисловості» програмні результати навчання) в іншому навчальному закладі. Також можуть бути перезараховані окремі лабораторні роботи або теми курсу, якщо здобувач отримав відповідні компетентності шляхом інформальної/неформальної освіти. Перезарахування відбувається відповідно до «Порядку визначення академічної різниці та перезарахування навчальних дисциплін в НУ Чернігівська політехніка».

Політика академічної доброчесності. Списування звітів лабораторних робіт, контрольних робіт, списування під час заліку або іспиту не допускається. У разі списування здобувач не отримує бали за списану лабораторну роботу або контрольну роботу, залік, іспит і, як наслідок, відбувається повторне проходження оцінювання (лабораторна робота, екзамен тощо) відповідно до Кодексу академічної доброчесності Національного університету «Чернігівська політехніка».

9. Рекомендована література

1. Теплотехніка. Курс лекцій/ Кепко О.І. , Федоров В.Г. , Виноградов- Салтиков В.О. За редакцією д.т.н., проф. Федорова В.Г. Умань, Вид-во УНУС, 2010. -127 с.
2. Стационарна теплопровідність : навч. посіб. / С. В. Юшко, О. Є. Борщ, М. А. Юшко. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – 80 с.
3. Гулій І.С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / І С. Гулій, В. Г. Мирончук, М. М. Пушанко. – Вінниця: Нова книга, 2007. – 648. с.
4. Бобилев В.П., Іванов І.І., Стовба Я.В. Методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни “Основи масо – та теплообміну. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. – 49. с.
5. George D. Saravacos, Athanasios E. Kostaropoulos. Handbook of Food Processing Equipment. Springer, Boston, Springer; 2nd ed., 2016. 787 p.