



Теплові процеси і агрегати в технології кераміки і скла (Силабус)

Реквізити освітнього компоненту

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	16 Хімічна та біоінженерія
Спеціальність	161 Хімічні технології та інженерія
Освітня програма	Хімічні технології та інженерія
Статус освітнього компоненту	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній семестр
Обсяг освітнього компоненту	4 кредити
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік, МКР, РГР
Розклад занять	Лекція 2 години на тиждень (1 пара) 9 тижнів, лабораторний практикум 4 години на тиждень (2 пари раз у два тижня) (за розкладом на https://schedule.kpi.ua)
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: - к.т.н., доц. Жданюк Наталія Василівна, zhdanyukn.kpi@gmail.com ; Лабораторні заняття: к.т.н., доц. Тобілко Вікторія Юріївна, vtobilko@gmail.com
Розміщення курсу	Google Classroom (Google G Suite for Education, домен LLL.kpi.ua, платформа Sikorsky-distance); доступ за запрошенням викладача

1. Опис освітнього компоненту, її мета, предмет вивчення та результати навчання

В основі технологічних процесів виробництва кераміки і скла лежить теплова обробка матеріалів і виробів: випал будівельної і вогнетривкої цегли, випал порцеляни та інших керамічних виробів, отримання скла.

Теплова обробка матеріалів і виробів здійснюється в технологічних або енерготехнологічних агрегатах - промислових печах, в яких матеріалам або виробам в умовах відносно високих температур надаються властивості, необхідні для подальшої обробки або для випуску в якості кінцевого продукту.

У деяких термічних печах керамічні і скляні вироби нагріваються, а потім охолоджуються за заздалегідь визначеним режимом, чим досягається отримання певних механічних властивостей шляхом зміни внутрішньої структури матеріалу без зміни його хімічного складу (відпал, загартування). У печах для термохімічної обробки виробів матеріал нагрівається для того, щоб забезпечити перебіг певних фізико-хімічних процесів.

У печах для теплової обробки матеріалів одночасно протікає ряд складних процесів - горіння палива, рух димових газів в робочому просторі, передача тепла від палаючого факела і димових газів до оброблюваного матеріалу (безпосередньо або за допомогою вторинного випромінювача - кладки), просування тепла від поверхні виробів всередину, екзотермічні і ендотермічні процеси при перетворенні оброблюваного матеріалу і т. д. Всі ці складні процеси взаємно пов'язані, їх сукупність становить сумарний процес теплової обробки, і вони не можуть розглядатися ізольовано. Провідними з цих процесів є процеси передачі теплоти.

Джерелом тепла в полумєневих печах є паливо: газ, мазут, вугільний пил і т. д. Хімічна енергія палива перетворюється в теплову енергію, носієм якої є продукти згорання. В електричних печах теплова енергія виникає за допомогою перетворення в неї електричної енергії. Джерелом тепла можуть бути електрична дуга (в дугових печах), електричні нагрівачі (в печах опору) або тепло виникає в товщі виробів, що нагріваються, поміщених в електричне поле високої частоти (в індукційних печах). В даний час розробляються проекти отримання теплової енергії нетрадиційними методами: лазерний нагрів, нагрів в високочастотному електромагнітному полі.

Одними із головних розділів в навчальному циклі при підготовці кваліфікованих спеціалістів в області хімічної технології кераміки і скла є фізико-хімічні засади процесів, що мають місце при високих температурах в сировині, а також основи теплотехніки агрегатів силікатної промисловості. Ці розділи є тісно взаємопов'язані, оскільки без глибокого розуміння механізму високотемпературних процесів і їх послідовності неможливо обрати необхідну технологічну схему виробництва того чи іншого виду керамічних і скляних виробів і провести адекватні розрахунки теплового обладнання та оптимальних режимів його роботи.

Предмет освітнього компоненту: Існуючі технології сучасного виробництва кераміки і скла і пошук методів їх удосконалення з метою одержання виробів з надзвичайними експлуатаційними властивостями

Метою освітнього компонента є формування та закріплення у здобувачів вищої освіти компетентностей:

Інтегральна компетентність: Здатність вирішувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми хімічних технологій та інженерії, що передбачає застосування теорій та методів хімічних технологій та інженерії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності:

ЗК 01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;

ЗК 02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;

ЗК 03. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

Фахові компетентності:

ФК 01. Здатність використовувати положення і методи фундаментальних наук для вирішення професійних задач;

ФК 02. Здатність використовувати методи спостереження, опису, ідентифікації, класифікації об'єктів хімічної технології та промислової продукції;

ФК 03. Здатність проектувати хімічні процеси з урахуванням технічних, законодавчих та екологічних обмежень;

ФК 04. Здатність використовувати сучасні матеріали, технології і конструкції апаратів в хімічній інженерії;

ФК 05. Здатність обирати і використовувати відповідне обладнання, інструменти та методи для контролю та керування технологічних процесів хімічних виробництв;

ФК 06. Здатність використовувати обчислювальну техніку та інформаційні технології для вирішення складних задач і практичних проблем в галузі хімічної інженерії;

ФК 14. Здатність до опанування теоретичних основ та практичних навичок в технології неорганічних керамічних матеріалів.

2. Місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою

Перелік освітніх компонентів, знань та умінь, володіння якими необхідні студенту для успішного засвоєння освітнього компоненту:

Пререквізити:

«Хімія твердого стану», «Матеріалознавство»	ПРН 02. Коректно використовувати у професійній діяльності термінологію та основні поняття хімії, хімічних технологій, процесів і обладнання виробництв хімічних речовин та матеріалів на їх основі. ПРН 06. Розуміти основні властивості конструкційних матеріалів, принципи та обмеження їх застосовування в хімічній інженерії.
Процеси і апарати хімічних виробництв	ПРН 07. Обирати і використовувати відповідне обладнання, інструменти та методи для вирішення складних задач хімічної інженерії, контролю та керування технологічних процесів хімічних виробництв.
Хімічна технологія кераміки і скла	ПРН 19. Знання основ технології та проектування хімічних виробництв силікатних та тугоплавких керамічних матеріалів.

Постреквізити:

«Виробнича практика», «Переддипломна практика», «Дипломне проектування»	ПРН 10. Обговорювати результати професійної діяльності з фахівцями та нефахівцями, аргументувати власну позицію. ПРН 15. Розробляти композиційні матеріали, виходячи з експлуатаційних вимог них, на основі різноманітних органічних та неорганічних сполук та проектувати технологічні лінії їх виробництва.
---	--

3. Зміст освітнього компонента

Перелік розділів і тем освітнього компонента

Тема 1. Паливно-енергетичні ресурси і процеси в технології кераміки і скла

Вступ. Споживання паливно-енергетичних ресурсів підприємствами силікатної промисловості. Теплова обробка матеріалів. Теплові процеси в теплових установках. Перебіг хімічних, теплових, масообмінних процесів в матеріалах і теплових, масообмінних і гідродинамічних процесів в установках. Теплові процеси в матеріалах і виробках. Види теплової обробки: нагрівання, сушіння, дегідратація, тепловологісна обробка, випал, спучування, спікання, плавлення, варіння, відпал, загартування. Фізичні й фізико-хімічні процеси, що супроводжуються поглинанням або виділенням теплоти.

Джерела й процеси одержання теплоти

Тверде паливо. Торф. Висіпні вугілля. Бурі вугілля. Кам'яні вугілля. Горючі сланці. Техногенне паливо. Рідке паливо. Мазут Природний газ Штучні гази. Генераторний газ. Доменний газ. Коксовий газ. Газ переробки нафти. Біогаз.

Хімічний склад палив. Горюча частина і баласт Основні теплотехнічні характеристики. Теплоти згоряння. Поняття умовного палива. Переваги і недоліки. Методи спалювання.

Газоподібне паливо

Процеси горіння природного газу. Розрахунки процесу горіння. Визначення температури горіння на основі балансу теплоти. Визначення витрат повітря й виходу продуктів горіння на основі матеріального балансу. Перерахування складу газоподібного палива із сухого на вологий.

Теплота згоряння палива. Витрата повітря на горіння. Коефіцієнт витрати повітря. Об'єм продуктів горіння. Температура горіння. Баланс теплоти для газів. Статті надходження і витрат. Рівняння теплового балансу. Приклад розрахунку горіння

Аеродинаміка теплових агрегатів

Закономірності течії нагрітих газів. Зв'язок аеродинамічних процесів з технологічними. Види течій нагрітих газів. Природний і примусовий рух газів. Режими ламінарний і турбулентний. Властивості газоподібних тіл. Поняття ідеальних й реальних газів.

Рушійна сила руху газів. Види напорів. Геометричний напір Схема виникнення геометричного напору газу. Статичний (п'єзометричний) напір. Динамічний (швидкісний) напір. Схеми виміру напорів U-подібними манометрами.

Рух газів в теплових агрегатах

Рівняння течії газів. Взаємозв'язок між напорами - рівняння Бернуллі. Рівняння Бернуллі для ідеального і реального газу. Опори течії газів. Втрати напору. Втрати на здолаання геометричного напору. Втрати від тертя. Природа втрат. Коефіцієнт втрат. Залежність від геометрії і стану поверхні каналів. Визначення. Місцеві втрати. Природа втрат. Коефіцієнт втрат. Залежність від геометрії каналів. Визначення.

Принцип розрахунку газоходів. Рушійна сила руху повітря і димових газів в печах. Тягодуттьові пристрої: димососи й вентилятори, димарі й т.д. Розрахунок димаря.

Тема 2. Теплообмінні процеси

Кондуктивний теплообмін

Загальні положення. Три види (способи, механізми) теплообміну. Кондукція, конвекція, радіація. Природа кондуктивного теплообміну. Роль кондукції в перенесенні теплоти в твердих, рідких і газоподібних субстанціях.

Поняття про температурне поле. Еволюція температурного поля в просторі і у часі. Вимірність температурного поля. Рівняння теплопровідності Фур'є для одновимірного поля. Система просторових координат (прямокутна, циліндрична, сферична. Поняття про градієнт температури, тепловий потік. Одиниці виміру.

Коефіцієнт теплопровідності. Його залежність від природи матеріалу, будови, температури. Вогнетривкі і теплоізоляційні матеріали для оснащення теплових агрегатів.

Стаціонарна теплопровідність через плоску стінку. Одношарова плоска стінка. Багатошарова плоска стінка.

Конвективний теплообмін

Конвекція. Закон Ньютона. Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією. Основні фактор, що впливають на процес тепловіддачі конвекцією. Природа виникнення руху газів і рідини Режим руху газів. Фізичні властивості газів.

Використання теорії подібності. Критерії подібності. Форма, розміри й орієнтація поверхні. Основні емпіричні рівняння для обчислення коефіцієнтів тепловіддачі.

Теплопередача через плоску стінку. Поняття про термічний опір конвективної і кондуктивної складової теплового потоку. Одношарова і багатошарова стінка.

Теплообмін випромінюванням

Загальні положення. Джерела теплового випромінювання. Електромагнітне випромінювання інфрачервоного діапазону. Безперервний спектр випромінювання твердих тіл. Інтегральний або повний променистий потік. Випромінювальна здатність тіла. Інтенсивність випромінювання. Закони випромінювання. Закон Кірхгоффа, Планка, Стефана-Больцмана.

Відбивання, поглинання й пропускання променів. Коефіцієнтом поглинання, відбиття, проникності. Поняття про ступень чорноти і випромінювальної здатності твердих тіл.

Радіаційний теплообмін за участю газів. Лінійчатий спектр випромінювання газів. Селективне (вибіркове) випромінювання газів. Об'ємний характер випромінювання газів.

Прозорість для теплового випромінювання одно- та двохатомних газів зі симетричними молекулами. Поглинальна і випромінювальна здатність трьохатомних газів (вуглекислого газу CO_2 і парів води H_2O) в інфрачервоній частині спектра.

Залежність коефіцієнтів поглинання і випромінювання газів від температури, тиску (густини, концентрації), просторової протяжності газового шару. Випромінювальна здатність або ступінь чорноти. Визначення ефективної товщини газового шару. Визначення ступеню чорноти газів за допомогою діаграм. Теплопередача від полум'я у камерах згоряння, топках та пальниках.

Тема 3. Теплові процеси в технології кераміки та скла

Процес випалу в технології кераміки.

Випал - високотемпературна дія на сировину. Спікання – основний процес термічної обробки. Основні ознаки спікання: підвищення щільності й механічної міцності матеріалу, усадкові явища. Пористість загальна, відкрита, закрита. Водопоглинання.

Рідкофазове і твердофазове спікання. Термічні режими і структуроутворення. Основні способи інтенсифікації спікання. Підвищення ступеня здрібнювання вихідного матеріалу. Введення добавок, що утворюють тверді розчини з основним компонентом. Спікання під тиском.

Процеси варіння в технології скла

Варіння – високотемпературна дія на сировину з метою одержання речовини у рідкому розплавленому стані. Основні процеси: дисоціація вихідних компонентів шихти, утворення проміжних силікатних сполук, плавлення евтектик і кінцевої речовини. Газоутворення, поява пузирів і їх видалення. Гомогенізація розплаву. Теплові агрегати – скловарні печі.

Відпал – термічна дія на скляний виріб (напівфабрикат) з метою усунення залишкових термічних напруг. Печі відпалу. Кристалізація - термічна дія на скляний виріб (напівфабрикат) з метою керованої кристалізації і отримання склокристалічного матеріалу (ситалу). Печі кристалізації.

Тема 4. Теплові агрегати в технології кераміки і скла

Низькотемпературні тепло-технологічні агрегати (сушарки).

Класифікація. Конвективні, конвективно-радіаційні та високочастотні агрегати. Агрегати періодичної і безперервної дії. Тунельні вагонетні сушарки. Принципова схема тунельної протиточної сушарки. Вагонетка тунельної сушарки. Блок тунельних сушарок. Тунельні сушарки з роликовим конвеєром. Тунельна сушарка із сітковим транспортером. Баштові розпилюючі

сушарки. Барабанні обертові сушарки. Схеми протиточних та прямоточних барабанних сушарок. Система теплообмінних насадок барабанної сушарки

Високотемпературні тепло-технологічні агрегати (печі).

Класифікація. Агрегати періодичної дії. Камерна піч. Камерна піч із викатним подом. Агрегати безперервної дії. Кільцеві печі. Принцип дії пічного агрегату. Тунельні печі. Тунельна піч із арочним склепінням. Зона підігріву печі. Зона випалу. Пічна вагонетка

Тунельна піч із плоским склепінням. Тунельні агрегати із роликовим транспортером. Тунельна піч з сітковим транспортером. Теплоізоляція та вогнетриві печей. Енергозберігаючі заходи та конструктивні рішення.

Класифікація скловарних печей.

За режимом роботи: печі періодичної і безперервної дії.

За способом обігріву: печі полуменеві, електричні й газоелектричні. За способом використання тепла газів, що відходять: печі регенеративні й рекуперативні

Горшкові та ванні печі. Горшкові печі періодичної дії. Ванні печі безперервної і періодичної дії. Оцінка ефективності роботи скловарних печей коефіцієнтом корисної дії (ККД).

Ванні печі безперервної дії.

Малі, середні, великі ванні печі. Продуктивність печей. Зони ванних печей: варіння, посвітління, студки. Рух газів у поперечному, поздовжньому, підковоподібному й комбінованому напрямках відносно напрямку руху скломаси. Конструктивні елементи ванних печей. Робоча камера. Басейн, полуменевий простір і склепіння. Басейн - ванна, що складається зі стін і дна, яка наповнена розплавленою скломасою.

Пальники.

Способи введення палива: бічний двосторонній; знизу в щабель пальника; зверху через склепіння; з боку торцевої стінки пальника й ін. Пристрої для утилізації теплоти димових газів. Рекуператори. Регенератори. Схеми роботи регенераторів. Типи елементів насадок регенераторів. Тепловий та аеродинамічний режими роботи печі. Склад газового середовища. Режим тисків. Температурний режим. Рух газів

Тема 5. Метод теплових балансів при визначенні витрат палива в теплових агрегатах.

Принципи складання теплових балансів. Теплові баланси окремих ділянок печей і теплового агрегату в цілому. Теплові баланси печей періодичної і безперервної дії.

Типові статті надходження теплоти в печах по виробництву керамічних виробів, в скловарних печах. Продуктивні та непродуктивні витрати теплоти.

Рівняння теплового балансу. Визначення витрат палива. Коефіцієнт корисної дії (ККД) теплового агрегату. Шляхи зниження теплових витрат і підвищення ККД. Теплообмінні апарати. Рекуператори, регенератори. Котли-утилізатори. Принцип дії

4. Навчальні матеріали та ресурси

Навчальні матеріали, зазначені нижче, доступні у бібліотеці університету та у бібліотеці кафедри хімічної технології кераміки та скла. Обов'язковою до вивчення є базова література, інші матеріали – факультативні. Розділи та теми, з якими студент має ознайомитись самостійно, викладач зазначає на лекційних та лабораторних заняттях.

Базова:

1. Племянніков М.М., Яценко А.П., Корнілович Б.Ю. Хімія і технологія скла. Високотемпературні процеси / Навчальний посібник. – К.: «Освіта України», 2015. – 183 с.
2. Величко Ю.М., Племянніков М.М., Яценко А.П., Корнілович Б.Ю. Хімія і технологія кераміки. Високотемпературні процеси / Навчальний посібник. – К.: «Освіта України», 2016. – 160 с.
3. Жданюк Н.В., Племянніков М.М. Енерготехнологія хіміко-технологічних процесів у виробництві кераміки та скла. Паливо і його характеристики. Розрахунки горіння палива. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 62 с.

4. Племянніков М.М., Крупа О.А. Хімія та теплофізика скла / Навчальний посібник. – К.: НТУУ“КПІ” 2000.– 560с.

Додаткова

5. Інноваційні технології у виробництві спеціального та побутового скла [Електронний ресурс] / М. М. Племянніков, А. П. Яценко, І. В. Пилипенко, Б. Ю. Корнілович // Київ. КПІ ім. І. Сікорського. – 2018. - 298 с.

Інформаційні ресурси

1. Дистанційний курс Google G Suite for Education. Режим доступу: Google Classroom (Google G Suite for Education, домен LLL.kpi.ua, платформа Sikorsky-distance).

Навчальний контент

5. Методика опанування освітнього компонента

Лекційні заняття

Вичитування лекцій з освітнього компоненту проводиться паралельно з виконанням студентами лабораторних робіт та розглядом ними питань, що виносяться на самостійну роботу. При читанні лекцій застосовуються засоби для відеоконференцій (Google Meet, Zoom тощо) та ілюстративний матеріал у вигляді презентацій, які розміщені на платформі Sikorsky-distance. Після кожної лекції рекомендується ознайомитись з матеріалами, рекомендованими для самостійного вивчення, а перед наступною лекцією – повторити матеріал попередньої.

№	Дата	Опис заняття
1	36 тиждень 01.09.2026 р.	Тема 1. Паливно-енергетичні ресурси і процеси в технології кераміки і скла Вступ. Споживання паливно-енергетичних ресурсів підприємствами силікатної промисловості. Теплова обробка матеріалів. Теплові процеси в теплових установках (печах, сушарках). Перебіг хімічних, теплових, масообмінних процесів в матеріалах і теплових, масообмінних і гідродинамічних процесів в установках. Види теплової обробки: нагрівання, сушіння, дегідратація, тепловологісна обробка, випал, спучування, спікання, плавлення, варіння, відпал, загартування. Фізичні й фізико-хімічні процеси, що супроводжуються поглинанням або виділенням теплоти. Джерела й процеси одержання теплоти. Паливо. Тверде паливо. Торф. Викопні вугілля. Бурі вугілля. Кам'яні вугілля. Горючі сланці. Техногенне паливо. Рідке паливо. Мазут Природний газ Штучні гази. Генераторний газ. Доменний газ. Коксовий газ. Газ переробки нафти. Біогаз. Хімічний склад палив. Горюча частина і баласт Основні теплотехнічні характеристики. Теплоти згоряння. Поняття умовного палива. Переваги і недоліки. Методи спалювання.
2	37 тиждень 08.09.2026 р.	Газоподібне паливо Процеси горіння природного газу. Розрахунки процесу горіння. Визначення температури горіння на основі балансу теплоти. Визначення витрат повітря й виходу продуктів горіння на основі матеріального балансу. Перерахування складу газоподібного палива із сухого на вологий. Теплота згоряння палива. Витрата повітря на горіння. Коефіцієнт витрати повітря. Об'єм продуктів горіння. Температура горіння.

		<i>Баланс теплоти для газів. Статті надходження і витрат. Рівняння теплового балансу. Приклад розрахунку горіння.</i>
3	38 тиждень 15.09.2026 р.	Аеродинаміка теплових агрегатів <i>Закономірності течії нагрітих газів. Зв'язок аеродинамічних процесів з технологічними. Види течій нагрітих газів. Природний і примусовий рух газів. Режими ламінарний і турбулентний. Канальна, струминна, фільтраційна, циклонна течія. Властивості газоподібних тіл. Поняття ідеальних й реальних газів.</i> <i>Рушійна сила руху газів. Види напорів. Геометричний напір - потенційна енергія газу в гравітаційному полі Землі. Схема виникнення геометричного напору газу. Статичний (п'єзометричний) напір - потенційна енергія газу, обумовлена міжмолекулярними взаємодіями. Динамічний (швидкісний) напір - кінетична енергія газу, що рухається. Схеми виміру напорів U-подібними манометрами.</i> Рух газів в теплових агрегатах <i>Взаємозв'язок між напорами - рівняння Бернуллі. Рівняння Бернуллі для ідеального і реального газу. Опори течії газів. Втрати напору. Втрати на здолаття геометричного напору. Втрати від тертя. Природа втрат. Коефіцієнт втрат. Залежність від геометрії і стану поверхні каналів. Визначення.</i> <i>Місцеві втрати. Природа втрат. Коефіцієнт втрат. Залежність від геометрії каналів. Визначення.</i> <i>Принцип розрахунку газоходів. Епюра напорів в повітряно-димових трактах печі. Рушійна сила руху повітря і димових газів в печах. Тягодуттьові пристрої: димососи й вентилятори, димарі і т.д. Розрахунок димаря.</i>
4	39 тиждень 22.09.2025 р.	Тема 2. Теплообмінні процеси Кондуктивний теплообмін. <i>Загальні положення. Три види (способи, механізми) теплообміну. Кондукція, конвекція, радіація. Природа кондуктивного теплообміну. Роль кондукції в перенесенні теплоти в твердих, рідких і газоподібних субстанція.</i> <i>Поняття про температурне поле. Еволюція температурного поля в просторі і у часі. Вимірність температурного поля. Рівняння теплопровідності Фур'є для одновимірного поля. Система просторових координат (прямокутна, циліндрична, сферична. Поняття про градієнт температур, тепловий потік. Одиниці виміру. Коефіцієнт теплопровідності. Його залежність від природи матеріалу, будови, температури. Вогнетривкі і теплоізоляційні матеріали для оснащення теплових агрегатів.</i> <i>Стаціонарна теплопровідність через плоску стінку. Одношарова плоска стінка. Багатошарова плоска стінка.</i> Конвективний теплообмін <i>Конвекція. Закон Ньютона. Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією. Основні фактор, що впливають на процес тепловіддачі конвекцією. Природа виникнення руху газів і рідини уздовж поверхонь порожнин. Режим руху газів і рідин. Фізичні властивості газів і рідин.</i> <i>Використання теорії подібності. Критерії подібності. Форма, розміри й орієнтація поверхні. Основні емпіричні рівняння для обчислення коефіцієнтів тепловіддачі.</i>

		Теплопередача через плоску стінку. Поняття про термічний опір конвективної і кондуктивної складової теплового потоку. Одношарова і багатошарова стінка. Приклад визначення теплових втрат через огороження печей.
5	40 тиждень 29.09.2025 р.	Теплообмін випромінюванням Загальні положення. Джерела теплового випромінювання. Електромагнітне випромінювання інфрачервоного діапазону. Безперервний спектр випромінювання твердих тіл. Інтегральний або повний променистий потік. Випромінювальна здатність тіла. Поняття абсолютно чорного тіла. Інтенсивність випромінювання. Закони випромінювання. Закон Кірхгофа, Планка, Віна, Ламберта, Стефана-Больцмана. Відбивання, поглинання й пропускання променів. Коефіцієнти поглинання, відбиття, проникності. Поняття про ступень чорноти і випромінювальної здатності твердих тіл. Приклади значень для матеріалів пічного обладнання. Радіаційний теплообмін за участю газів Лінійчатий спектр випромінювання газів. Селективне (вибіркове) випромінювання газів. Об'ємний характер випромінювання газів. Прозорість для теплового випромінювання одно- та двоатомних газів зі симетричними молекулами. Поглинальна і випромінювальна здатність трьохатомних газів (вуглекислого газу CO_2 і парів води H_2O) в інфрачервоній частині спектра. Залежність коефіцієнтів поглинання і випромінювання газів від температури, тиску (густини, концентрації), просторової протяжності газового шару. Випромінювальна здатність або ступінь чорноти. Визначення ефективної товщини газового шару. Визначення ступеню чорноти газів за допомогою діаграм. Теплопередача від полум'я у камерах згоряння, топках та пальниках. Модульна контрольна робота 1 (МКР).
6	41 тиждень 06.10.2025 р.	Тема 3: Теплові процеси в технології кераміки та скла Процес випалу в технології кераміки. Випал - високотемпературна дія на сировину. Спікання – основний процес термічної обробки. Основні ознаки спікання: підвищення щільності й механічної міцності матеріалу, усадкові явища. Пористість загальна, відкрита, закрита. Водопоглинання. Рідкофазове і твердофазове спікання. Рекристалізаційне спікання. Термічні режими і структуроутворення. Основні способи інтенсифікації спікання. Підвищення ступеня здрібнювання вихідного матеріалу. Введення добавок, що утворюють тверді розчини з основним компонентом. Спікання під тиском. Реакційне спікання. Процеси варіння в технології скла Варіння – високотемпературна дія на сировину з метою одержання речовини у рідкому розплавленому стані. Основні процеси: дисоціація вихідних компонентів шихти, утворення проміжних силікатних сполук, плавлення евтектик і кінцевої речовини. Газоутворення, поява пазирів і їх видалення. Гомогенізація розплаву. Основні ознаки: стовідсотковий розплав, повна аморфізація продукту. Теплові агрегати – скловарні печі. Відпал – термічна дія на скляний виріб (напівфабрикат) з метою усунення залишкових термічних напруг. Печі відпалу.

		Кристалізація - термічна дія на скляний виріб (напівфабрикат) з метою керованої кристалізації і отримання склокристалічного матеріалу (ситалу). Печі кристалізації.
7	42 тиждень 13.10.2025 р.	Тема 4: Теплові агрегати в технології кераміки і скла Низькотемпературні тепло-технологічні агрегати (сушарки). Класифікація. Конвективні, конвективно-радіаційні та високочастотні агрегати. Агрегати періодичної і безперервної дії. Тунельні вагонетні сушарки. Принципова схема тунельної протиточної сушарки. Вагонетка тунельної сушарки. Блок тунельних сушарок. Тунельні сушарки з роликовим конвеєром. Тунельна сушарка із сітковим транспортером. Баштові розпилюючі сушарки (БРС). Барабанні обертові сушарки. Схеми протиточних та прямоточних барабанних сушарок. Система теплообмінних насадок барабанної сушарки. Високотемпературні тепло-технологічні агрегати (печі). Класифікація. Агрегати періодичної дії. Камерна піч. Камерна піч із викатним подом. Агрегати безперервної дії. Кільцеві печі. Принцип дії пічного агрегату. Тунельні печі. Тунельна піч із арочним склепінням. Зона підігріву печі. Зона випалу. Пічна вагонетка Тунельна піч із плоским склепінням. Тунельні агрегати із роликовим транспортером. Тунельна піч з сітковим транспортером. Теплоізоляція та вогнетриві печей. Енергозберігаючі заходи та конструктивні рішення.
8	43 тиждень 20.10.2025 р.	Класифікація скловарних печей. За режимом роботи: печі періодичної і безперервної дії. За способом обігріву: печі полуменеві, електричні й газоелектричні. За способом використання тепла газів, що відходять, : печі регенеративні й рекуперативні Горшкові та ванні печі. Горшкові печі періодичної дії. Ванні печі безперервної і періодичної дії. Оцінка ефективності роботи скловарних печей коефіцієнтом корисної дії (ККД). Ванні печі безперервної дії. Малі, середні, великі ванні печі. Продуктивність печей. Зони ванних печей: варіння, посвітління, студки. Рух газів у поперечному, поздовжньому, підковоподібному й комбінованому напрямках відносно напрямку руху скломаси. Конструктивні елементи ванних печей. Робоча камера. Басейн, полуменевий простір і склепіння. Басейн - ванна, що складається зі стін і дна, яка наповнена розплавленою скломасою. Конструкції ванних печей Вузол підвіски склепіння і стін полуменевого простору. Стіни й склепіння полуменевого простору. Склепіння печі – аркове. Ванні печі з установкою для бурління скломаси. Розділові пристрої печі по скломасі та полуменевому простору. Теплоізоляція та вогнетриві печі. Енергозбереження при скловарінні. Способи введення палива: бічний двосторонній; знизу в щабель пальника; зверху через склепіння; з боку торцевої стінки пальника та ін. Пристрої для утилізації теплоти димових газів. Рекуператори. Регенератори. Схеми роботи регенераторів. Типи елементів насадок регенераторів. Тепловий та аеродинамічний режими роботи печі. Склад газового середовища. Режим тисків. Температурний режим. Рух газів. Модульна контрольна робота 2 (МКР).

9	44 тиждень 27.10.2025 р.	Тема 5 – Метод теплових балансів при визначенні витрат палива в теплових агрегатах. Принципи складання теплових балансів. Теплові баланси окремих ділянок печей і теплового агрегату в цілому. Теплові баланси печей періодичної і безперервної дії. Типові статті надходження теплоти в печах по виробництву керамічних виробів, в скловарних печах. Продуктивні та непродуктивні витрати теплоти. Рівняння теплового балансу. Визначення витрат палива. Коефіцієнт корисної дії (ККД) теплового агрегату. Шляхи зниження теплових втрат і підвищення ККД. Теплообмінні апарати. Рекуператори, регенератори. Котли-утилізатори. Принцип дії. Захист РГР.
---	-----------------------------	---

Практичні заняття
(не передбачені програмою)

Лабораторний практикум

Метою лабораторного практикуму є закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях та в процесі самостійної роботи з літературними джерелами в ході вивчення освітнього компоненту «Теплові процеси і агрегати в технології кераміки і скла». Матеріал лабораторного практикуму спрямований на одержання досвіду моделювання теплообмінних процесів на лабораторних зразках з подальшою екстраполяцією на реальні вироби і технологічні процеси.

Тиждень	Тема	Опис запланованої роботи
2	Робота № 1. Вступне заняття	Інструктаж з техніки безпеки. Ознайомлення з лабораторним обладнанням, методами вимірювання температур, принципом роботи термопар.
4	Робота № 2. Приготування пластичної маси та формування лабораторних зразків	Набуття навичок класичного приготування керамічної пластичної маси та формування зразків циліндричної форми.
6	Робота № 3. Вивчення процесу сушіння зразків із глиновміщуючих мас у конвекційній сушарці	Набуття навичок визначення динаміки зміни вологості зразка, критичної вологості, швидкості сушіння й коефіцієнта зовнішнього теплообміну
8	Робота № 4. Вивчення температурного поля в силікатному модельному зразку при випалі	Вивчення методики дослідження температурного поля матеріалу в процесі нагрівання, аналіз кривих температурних полів.
10	Робота № 5. Комплексне визначення термічних характеристик силікатних матеріалів методом регулярного режиму	Вивчення методики визначення коефіцієнтів теплопровідності, теплообміну зразка методом регулярного режиму.

12	Робота № 6. Визначення коефіцієнтів переносу речовини в процесі випалу силікатних матеріалів	Дослідження динаміки втрати маси матеріалу в процесі лінійного нагрівання (квазістаціонарний режим)
14	Підсумкове заняття.	Захист робіт. Відпрацювання лабораторних робіт (для студентів, які з поважних причин не змогли виконати роботу за розкладом). До відома студентів доводиться кількість балів, яку вони набрали протягом семестру. Студенти, які були не допущеними до семестрової атестації з навчальної дисципліни, мають усунути причини, що призвели до цього.

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента (CPC) протягом семестру включає повторення лекційного матеріалу, оформлення протоколів і звітів з лабораторного практикуму, виконання розрахункової роботи, підготовка до захисту практичних завдань та розрахункової роботи, підготовка до екзамену. Рекомендована кількість годин, яка відводиться на підготовку до зазначених видів робіт:

Вид CPC	Кількість годин на підготовку
Підготовка до аудиторних занять: повторення лекційного матеріалу, складання попередніх варіантів програм для проведення розрахунків на заняттях, оформлення звітів з лабораторних практикумів	3 – 4 години на тиждень
Виконання розрахункової роботи	10 годин
Підготовка до МКР (повторення матеріалу)	10 години
Підготовка до заліку	6 годин
Всього	66 год.

Політика та контроль

7. Політика освітнього компонента

У звичайному режимі роботи університету лекції та лабораторні заняття проводяться в навчальних аудиторіях.

У змішаному режимі навчання - лекційні заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський, лабораторні практикуми – у кафедральних лабораторіях.

У дистанційному режимі всі заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський.

На початку кожної лекції проводиться опитування за матеріалами попередньої лекції. Перед початком чергової теми лектор може надсилати питання із застосуванням інтерактивних засобів з метою визначення рівня обізнаності здобувачів за даною темою та підвищення зацікавленості.

Правила захисту лабораторних робіт:

1. До захисту допускаються студенти, які правильно виконали розрахунки (при неправильно виконаних розрахунках їх слід усунути).
2. Після перевірки завдання викладачем на захист виставляється загальна оцінка і робота вважається захищеною.

Політика дедлайнів та перескладань: визначається п. 8 Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського

Політика щодо академічної доброчесності: визначається політикою академічної чесності та іншими положеннями Кодексу честі університету.

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

Види контролю встановлюються відповідно до Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського:

1. Поточний контроль: опитування під час читання лекцій, виконання та захист лабораторних робіт, виконання МКР, виконання та захист РГР.
2. Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
3. Семестровий контроль: залік.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання

1. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується виходячи із 100-бальної шкали, з них 60 балів складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

- активну участь впродовж лекційних занять (дискусійні коментарі, відповіді на запитання тощо);
- роботу з лабораторного практикуму (7 тем занять);
- написання модульної контрольної роботи (МКР);
- виконання та захист розрахункової роботи (РГР).

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Робота з лабораторного практикуму. 7 лабораторних робіт, але оцінюватись буде 5 робіт (№№2-5, вступне та заключне заняття не оцінюються).

Ваговий бал – $5 \times 8 = 40$ балів:

Виконання роботи:

- робота виконана повністю і вірно протягом відведеного часу – 4 бали;
- робота виконана майже повністю і вірно протягом відведеного часу або має не принципові неточності – 3 бали;
- робота виконана більше ніж наполовину протягом відведеного часу – 2 бали;
- робота виконана протягом відведеного часу менше, ніж наполовину, результати роботи містять грубі помилки, відсутність виконання роботи – 0 балів.

Якість захисту роботи:

- студент вірно і повністю виконав всі надані до захисту завдання (відповів на запитання) – 4 бали;
- студент вірно виконав всі надані для захисту завдання, але допустив несуттєві неточності – 3 бали;
- студент при виконанні завдання (відповідях на запитання) допустив ряд суттєвих неточностей – 2 бали;
- студент при виконанні завдання (відповідях на запитання) допустив суттєві неточності – 0 балів.

ПРИМІТКА: Захист лабораторної роботи може відбуватись з використанням гуглформ.

2.3. Модульний контроль. Ваговий бал – 30 балів. 2 модульних контролі (15х2=30).

Оцінювання роботи проводиться за наступною шкалою:

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 13-15 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 10-12 балів;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 5 – 9 балів;
- незадовільна відповідь (не відповідає вимогам на «задовільно») – 0 балів.

2.4. Розрахункова робота (РГР). Ваговий бал – 28 балів.

Виконання РГР:

проводиться за наступною шкалою:

- творчо виконана робота, виконані всі вимоги до роботи – 18 – 20 балів;
- роботу виконано з незначними недоліками, виконані майже всі вимоги до роботи, або є несуттєві помилки – 14 – 17 балів;
- роботу виконано з певними помилками, є недоліки щодо виконання вимог до роботи і певні помилки – 7 – 13 балів;
- роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки) – 0 балів.

Захист РГР:

проводиться за наступною шкалою:

- студент вірно і повністю виконав всі надані до захисту завдання (відповів на запитання) – 10 балів;
- студент вірно виконав всі надані для захисту завдання, але допустив несуттєві неточності – 6-8 балів;
- студент при виконанні завдання (відповідях на запитання) допустив ряд суттєвих неточностей – 4-5 бали;
- студент при виконанні завдання (відповідях на запитання) допустив суттєві неточності – 0 балів.

3. Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю є виконання всіх запланованих на цей час робіт (на час календарного контролю). На першому календарному контролі (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 15 балів. На другому календарному контролі (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 25 балів і зарахована розрахункова робота.

Умови допуску до семестрового контролю (Заліку):

Виконано та захищено всі 5 лабораторних робіт.

Зараховано МКР (не менше 15 балів).

Подано та захищено РГР (не менше 15 балів).

Поточний рейтинговий бал складає не менше 60 балів.

Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та набрали 60 і більше балів, отримують відповідну рейтингову оцінку без потреби проходження заходу семестрового контролю.

4. Рейтингова сума балів, яку студент може набрати протягом семестру, складає 100 балів:

$$R_C = r_{\text{лаб}} + r_{\text{мкр}} + r_{\text{ргр}} = 40+30+30= 100 \text{ балів}$$

Сума рейтингових балів, отриманих студентом впродовж семестру, переводиться у підсумкову оцінку згідно з таблицею відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою. Здобувачі, які виконали умови допуску до заліку, але набрали

менше 60 балів, а також ті, хто бажають підвищити свою рейтингову оцінку, проходять захід семестрового контролю у формі, яка визначена в силабусі, при цьому семестровий контроль оцінюється у 100 балів.

У цьому разі сума балів, набраних впродовж семестру, анулюється, залікова робота оцінюється згідно п.5.

5. Залікова контрольна робота складається з трьох запитань (2 теоретичних та 1 практичного характеру). Кожне теоретичне запитання оцінюється максимально в 30 балів, а практичне – 40 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

9. Додаткова інформація з освітнього компонента

Вимоги до оформлення розрахункової роботи, перелік запитань до МКР та інші інформаційні матеріали наведені у Google Classroom «Теплові процеси і агрегати в технології кераміки і скла» (платформа Sikorsky-distance).

Робочу програму освітнього компоненту (силабус):

Складено НПП кафедри хімічної технології кераміки та скла:
к.т.н., доц. Жданюк Н.В., к.т.н., доц. Тобілко В.Ю.

Ухвалено кафедрою ХТКС (протокол № 15 від 09 червня 2026 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 18 червня 2026 р.)