

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до самостійної роботи з курсу  
**„Технологія нагріву та нагрівальне обладнання”** для студентів  
спеціальності 131 Прикладна механіка  
освітньої програми Обладнання та технології пластичного  
формування конструкцій машинобудування  
всіх форм навчання

**2024**

Методичні вказівки до самостійної роботи з курсу “Технологія нагріву та нагрівальне обладнання” для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка освітньої програми Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування всіх форм навчання /Укл. А.М. Бень – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 20 с.

Укладач: А.М. Бень, ст. викл.

Рецензент: В.В. Широкобоков, доц., к.т.н.

Відповідальний за випуск: А.М. Бень, ст. викл.

Затверджено  
на засіданні кафедри ОМТ  
протокол № 8 від 26.06.2024

Рекомендовано до видання  
НМК машинобудівного факультету  
протокол № 1 від 27.08.2024

**ЗМІСТ**

Зміст .....	3
Вступ.....	4
1 Мета і завдання дисципліни, її місце в навчальному процесі .....	6
2 Робоча програма дисципліни.....	8
2.1 Перелік лабораторних робіт .....	9
2.2 Перелік практичних робіт .....	10
2.3 Контрольні питання.....	10
3 Завдання для контрольних робіт з дисципліни «Технологія нагрівання та нагрівальне обладнання» .....	13
4 Контрольні заходи з перевірки якості засвоєння навчального матеріалу дисципліни «Технологія нагрівання та нагрівальне обладнання» .....	16
Рекомендована література .....	20

## ВСТУП

Курс «Технологія нагріву та нагрівальне обладнання» призначений для студентів спеціальності Прикладна механіка та спрямований на вивчення методів нагрівання матеріалів перед їх обробкою тиском, термічних процесів у виробництві та конструкцій нагрівального обладнання. Він охоплює принцип роботи різних нагрівальних пристроїв, технологічні режими нагріву, а також питання енергоефективності процесів нагрівання.

В рамках курсу здобувачі освіти знайомляться з основними видами промислового нагріву (полум'яний та електричний); теплофізичними процесами при нагріванні металів; будовою та принципами роботи нагрівального обладнання; вибором технологічних параметрів для забезпечення оптимального нагріву; енергозбереженням та екологічними аспектами нагрівальних процесів.

Особливості курсу полягають в: практичній орієнтованості (здобувачі освіти проводитимуть лабораторні роботи з аналізу процесів нагрівання та їхньої ефективності); мультидисциплінарному підході (поєднання знань з фізики, матеріалознавства, основ теплотехніки); проектна діяльність (розрахунок процесів горіння та нагрівальних установок)

Переваги курсу полягають в опануванні сучасних методів нагрівання матеріалів, що є затребуваним в машинобудуванні та металургії, формуванні компетентностей у сфері енергоефективності та виробничих процесів.

Курс «Технологія нагріву та нагрівальне обладнання» є важливою складовою підготовки здобувачів освіти до роботи в галузі промислового виробництва, забезпечуючи їх необхідними знаннями для розробки та експлуатації сучасних нагрівальних систем.

Діючий навчальний план викладання дисципліни «Технологія нагріву та нагрівальне обладнання» представлено в таблиці.

Діючий навчальний план викладання дисципліни «Технологія нагріву та нагрівальне обладнання»

Вид занять	V семестр 150 годин (5 кредити)	
	Денне відділення	Заочне відділення
Лекції	30 год	4 год
Практичні роботи	14 год	4 год
Лабораторні роботи	14 год	2 год
Самостійна робота	92 год	140 год

Мета цих методичних вказівок полягає в:

- ознайомленні студента з повним обсягом навчального матеріалу з дисципліни, який він має засвоїти, в тому числі і з тією його частиною, яка повністю виноситься на самостійне вивчення;
- наведенні необхідної навчальної літератури з кожної тематики дисципліни;
- наданні методичних вказівок та контрольних питань для самоперевірки знань;
- ознайомленні студента із заходами контролю засвоєння навчального матеріалу в умовах кредитно-модульної системи організації навчального процесу.

## **1 МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ, ЇЇ МІСЦЕ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ**

Мета: формування знань про сучасні методи нагрівання матеріалів, вибір і розрахунок нагрівального обладнання, а також контроль температури у різних виробничих процесах.

Завдання: вивчення основних понять та положень технології нагрівання. Ознайомлення з основними видами пічного обладнання. Формування навичок проведення нагрівання металевих заготовок різних марок сталей до відповідних температур у промислових умовах для подальшого їх використання в технологіях кування, штампування, прокатування і т.д.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати:

Загальні компетентності:

- ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
- ЗК3. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- ЗК4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК5. Здатність працювати в команді.
- ЗК7. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК10. Навички здійснення безпечної діяльності.
- ЗК12. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

Фахові компетентності:

- ФК1. Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки.
- ФК3. Здатність проводити технологічну і техніко-економічну оцінку ефективності використання нових технологій і технічних засобів.
- ФК4. Здатність здійснювати оптимальний вибір технологічного обладнання, комплектацію технічних комплексів, мати базові уявлення про правила їх експлуатації.
- ФК5. Здатність використовувати аналітичні та чисельні математичні методи для вирішення задач прикладної механіки,

зокрема здійснювати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість в процесі статичного та динамічного навантаження з метою оцінки надійності деталей і конструкцій машин.

- ФК6. Здатність виконувати технічні вимірювання, одержувати, аналізувати та критично оцінювати результати вимірювань.

- ФК9. Здатність представлення результатів своєї інженерної діяльності з дотриманням загальноприйнятих норм і стандартів.

Очікувані програмні результати навчання:

- ПРН1. Вибирати та застосовувати для розв'язання задач прикладної механіки придатні математичні методи.

- ПРН2. Використовувати знання теоретичних основ механіки рідин і газів, теплотехніки та електротехніки для вирішення професійних завдань;

- ПРН8. Знати і розуміти основи інформаційних технологій, програмування, практично використовувати прикладне програмне забезпечення для виконання інженерних розрахунків, обробки інформації та результатів експериментальних досліджень.

- ПРН9. Знати та розуміти суміжні галузі (механіку рідин і газів, теплотехніку, електротехніку, електроніку) і вміти виявляти міждисциплінарні зв'язки прикладної механіки на рівні, необхідному для виконання інших вимог освітньої програми.

- ПРН10. Знати конструкції, методики вибору і розрахунку, основи обслуговування і експлуатації приводів верстатного і робототехнічного обладнання.

- ПРН11. Розуміти принципи роботи систем автоматизованого керування технологічним обладнанням, зокрема мікропроцесорних, вибирати та використовувати оптимальні засоби автоматики.

- РН13. Оцінювати техніко-економічну ефективність виробництва;

- РН14. Здійснювати оптимальний вибір обладнання та комплектацію технічних комплексів;

- РН15. Враховувати при прийнятті рішень основні фактори техногенного впливу на навколишнє середовище і основні методи захисту 32довкілля, охорони праці та безпеки життєдіяльності;

PH16. Вільно спілкуватися з професійних питань усно і письмово державною та іноземною мовою, включаючи знання спеціальної термінології та навички міжособистісного спілкування.

Передумови для вивчення курсу «Технологія нагріву та нагрівальне обладнання» включають знання з наступних дисциплін: Вступ до спеціальності, Безпека життєдіяльності фахівця з основами охорони праці, Здоров'я, зберігаючі технології та співдія функціональному розвитку.

Для успішного опанування компетентностей з даної дисципліни також необхідно мати мотивацію та інтерес до навчання, бути готовим до роботи з різними аналітичними та інформаційними інструментами.

## **2 РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ**

**Тема 1 Види та хімічний склад палива.** Класифікація палива. Поянття умовного палива. Рідке та газоподібне паливо. Розрахунок горіння палива. Температура спалахування та реакції горіння. Форсунки та пальники.

**Тема 2 Нагрівання та охолодження металів.** Призначення та параметри нагрівання. Визначення температурного інтервалу. Окислення та зневуглекцювання при нагріванні. Тривалість нагрівання. Режим нагрівання. Охолодження та термічна обробка поковок.

**Тема 3 Конструкції полум'яних печей.** Вимоги до печей та їх класифікація. Теплопередача в робочому просторі печі. Камерні печі. Рециркуляційні печі. Прохідні печі. Печі швидкісного нагрівання.

**Тема 4 Основи механіки пічних газів.** Загальні положення про рух пічних газів. Ламінарний та турбулентний потоки. Розподіл тиску в робочій камері печі. Рівняння Бернуллі. Характер руху потоків пічних газів. Способи відведення пічних газів.

**Тема 5 Основи теплопередачі в печах.** Зовнішній, внутрішній, конвективний теплообмін. Передача тепла випромінюванням. Закон Фур'є. Розрахунок теплообміну.

**Тема 6 Побудова печей.** Вимоги до матеріалу футеровки печей. Вироби з вогнетривких матеріалів. Теплоізоляційні матеріали. Кладка печей.

**Тема 7 Методи електронагрівання.** Індукційне нагрівання. Електроконтактне нагрівання. Електричні печі опору. Нагрівання в електроліті.

**Тема 8 Печі для безокислювального нагрівання.** Печі з радіантними трубами та муфельні агрегати. Захисні та контрольовані атмосфери. Соляні ванни. Вакуумні електричні печі. Спеціальні способи безокислювального нагрівання.

**Тема 9 Спеціальні нагрівальні пристрої.** Електронно-променеві установки. Лазерне нагрівання. Установки низькотемпературного плазмового нагрівання.

**Тема 10 Рекуператори та регенератори.** Особливості роботи регенераторів. Особливості роботи та конструкції рекуператорів. Металеві та керамічні рекуператори.

**Тема 11 Прилади для контролю та регулювання роботи печей.** Вимірювання та регулювання температури в робочій камері печі. Прилади для вимірювання температури. Прилади для вимірювання тиску пічних газів.

## **2.1 Перелік лабораторних робіт**

1. Визначення окалиноутворення при нагріванні сталевих заготовок
2. Визначення ККД електропечі
3. Визначення втрат тепла через стінки та вікна електропечі
4. Експлуатація та характеристика ковальського індукційного нагрівача

Методичні вказівки. Лабораторні роботи проводяться згідно розкладу під керівництвом викладача. Вони направлені на закріплення найбільш важливих теоретичних положень курсу та набуття навичок проведення експерименту. Зміст, етапи та результати лабораторних робіт відображуються у зошиті.

Перед початком роботи студенти мають на підставі відповідної інструкції ознайомитися з порядком проведення роботи та необхідним теоретичним матеріалом. Кожна робота завершується захистом.

## 2.2 Перелік практичних робіт

1. Розрахунок повного горіння природного газу
2. Розрахунок неповного горіння природного газу
3. Розрахунки температурних полів по перерізу прямокутної та круглої заготовок
4. Розрахунок ковальського індукційного нагрівача

Метою практичних занять є набуття умінь і навичок розрахунку процесів нагрівання та нагрівального обладнання.

## 2.3 Контрольні питання

При підготовці до модульних контролів, а також до підсумкового заліку, студент може перевірити свою готовність, відповідаючи на наведені нижче питання, які охоплюють основні положення дисципліни «Технологія нагрівання та нагрівальне обладнання»:

1. Загальні визначення.
2. Основні принципи класифікації полумєневих печей.
3. Теплофізична суть роботи камерних печей.
4. Теплофізична суть роботи методичних печей.
5. Основні типи печей з елементами енергозаощадження.
6. Суть роботи рециркуляційних печей.
7. Галузь застосування та принцип роботи швидкісних печей.
8. Основні вимоги до вогнетривких матеріалів.
9. Основні вимоги до ізоляційних матеріалів.
10. Шляхи енергозбереження в полумєневих печах.
11. Суть рекуперації та регенерації.
12. Загальні принципи систем автоматичного регулювання теплової роботи печей.
13. Мета нагрівання заготовок перед ОМТ.
14. Паливо та його склад.
15. Рідинне та газове паливо.

16. Реакції горіння палива та їхній розрахунок.
17. Вимірювання та регулювання складу пічних газів.
18. Температура горіння.
19. Особливості горіння газів. Пальники.
20. Особливості горіння мазутів. Форсунки.
21. Теплота горіння палива.
22. Характер руху пічних газів.
23. Тиск пічних газів.
24. Вимірювання та регулювання тиску пічних газів.
25. Димарі та димососи.
26. Основні види теплопередачі.
27. Види теплопередач в робочих камерах печей.
28. Статика газового потоку.
29. Динаміка газового потоку.
30. Рух газів у пічних системах.
31. Передача теплоти конвекцією.
32. Передача теплоти випромінюванням.
33. Поняття теплопровідності.
34. Які фізико-хімічні параметри металу змінюються при нагріванні?
35. Умови визначення верхньої та нижньої межі гарячої ОМТ.
36. Вплив на кількість окалино утворення та зневугльцювання складу металу, температури нагрівання та атмосфери в печі.
37. Основні види браку при нагрівання, перегрівання та перепалення металу.
38. Визначення тривалості нагрівання в залежності від величини перетину металу.
39. Режими нагрівання.
40. Технологія охолодження поковок та їхня термічна обробка.
41. Окислення металу як основний недолік нагрівання.
42. Переваги та недоліки електричних методів нагрівання.

43. Сутність та галузь застосування індукційного нагрівання.
44. Сутність та галузь застосування контактного нагрівання.
45. Сутність та галузь застосування нагрівання в печах опору.
46. Визначення тривалості нагрівання при різних видах електронагрівання.
47. Обладнання для електронагрівання.
48. Контроль параметрів нагрівання в електropечах.
49. Методи та прилади для вимірювання та регулювання температури в печах.
50. Мета безокислювального нагрівання.
51. Суть основних методів безокислювального нагрівання.
52. Техніко-економічні показники безокислювального нагрівання.
53. Особливості конструкції печей безокислювального нагрівання.
54. Порівняльні характеристики методів безокислювального нагрівання.
55. Галузь застосування безокислювальних технологій нагрівання.

### **3 ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ «ТЕХНОЛОГІЯ НАГРІВАННЯ ТА НАГРІВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ»**

#### Варіант 1

1. Склад, особливості згорання та паливоспалюючі пристрої при опаленні печей газами.
2. Передача тепла теплопровідністю. Закон Фуко. Визначення витрат тепла через стінки печей.
3. Особливості конструкцій та теплової роботи камерних та методичних печей.
4. Практична робота № 1.
5. Практична робота №2.

#### Варіант 2

1. Стадії горіння мазутів. Форсунки.
2. Передача тепла конверсією та випромінюванням.
3. Обладнання та електрична схема індукційних нагрівачів.
4. Практична робота № 1.
5. Практична робота №2.

#### Варіант 3

1. Калориметрична, теоретична та дійсна температури горіння. Засоби з підвищення температури горіння в печах.
2. Основні напрямки енергозаощадження.
3. Принцип дії та конструкції рекуператорів та регенераторів.
4. Практична робота № 1.
5. Практична робота № 2.

#### Варіант 4

1. Рух газів в печах. Рециркуляція. Тиск пічних газів та його регулювання. Димарі та димососи.
2. Основні методи електронагрівання заготовок. Переваги та недоліки.
3. Основні конструкції камерних печей.
4. Практична робота № 1.
5. Практична робота № 2.

### Варіант 5

1. Розрахунок горіння палива. Теплота згорання. Склад продуктів згорання.
2. Тепловий баланс печей. Визначення питомої витрати палива.
3. Конструкції печей для безокислювального нагрівання.
4. Практична робота № 1.
5. Практична робота № 2.

### Варіант 6

1. Вибір верхньої та нижньої межі нагрівання. Перегрівання та перепалення металу.
2. Основні способи безокислювального нагрівання.
3. Особливості конструкції методичних печей.
4. Практична робота № 1.
5. Практична робота № 2.

### Варіант 7

1. Окаліноутворення та зневуглецьовування при нагріванні. Умови тріщиноутворення та засоби його запобігання.
2. Нагрівання в індукційних печах. Фізика процесу та нагрівальне обладнання.
3. Режими та час нагрівання. Критерій Біо. Термічно тонкі та термічно товсті заготовки.
4. Практична робота № 1.
5. Практична робота № 2.

### Варіант 8

1. Загальна характеристика вогнетривких матеріалів. Вимоги, технологія виготовлення та межі використання.
2. Електроконтактне нагрівання. Технологія та обладнання.
3. Методи вимірювання та регулювання температури в печах.
4. Практична робота № 1.
5. Практична робота № 2.

Варіант 9

1. Температурні напруження при нагріванні. Тріщиноутворення. Термообробка поковок.
2. Швидкісне нагрівання металу. Печі швидкісного нагрівання.
3. Загальні вимоги з техніки безпеки при експлуатації полуменевих печей.
4. Практична робота № 1.
5. Практична робота № 2.

Варіант 10

1. Нагрівання в печах опору та можливості отримання регульованої атмосфери. Конструкції печей.
2. Теплоізоляційні матеріали. Вимоги та умови використання.
3. Склад газового та мазутного палива. Теплова здатність палива. Енергозаощадження.
4. Практична робота № 1.
5. Практична робота № 2.

## **4 КОНТРОЛЬНІ ЗАХОДИ З ПЕРЕВІРКИ ЯКОСТІ ЗАСВОЄННЯ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ДИСЦИПЛІНИ «ТЕХНОЛОГІЯ НАГРІВАННЯ ТА НАГРІВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ»**

Курс «Технологія нагріву та нагрівальне обладнання» складається з двох модулів, бали яких сумуються – 28 балів за виконання практичних робіт, 32 бали за виконання лабораторних робіт і 40 балів за підсумковий контроль у вигляді заліку.

На курсі діє накопичувальна система оцінювання, тобто всі зароблені Вами бали додаються до підсумкової оцінки.

Види контролю: поточний, проміжний.

Форма підсумкового контролю – залік.

Поточний контроль: лабораторні роботи, практичні роботи.

Проміжний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Умови допуску до підсумкового контролю: зарахування усіх лабораторних та практичних робіт.

Рейтинг студента у семестрі складається з балів, які він набрав за:

- виконання та захист лабораторних робіт — 4 роботи, кожна по 8 балів;
- роботу на практичних заняттях — 4 роботи — по 7 балів;
- залікову роботу — у вигляді тесту — 20 питань по 2 бали

### Рейтингові бали за одну лабораторну роботу

Бали	Критерії оцінювання
8	Робота виконана повністю, зауважень немає, є відповіді на всі запитання
7	Робота виконана з несуттєвими зауваженнями, у відповідях трапляються неточності
6	Робота виконана з зауваженнями, є відповіді на більшість запитань
5	Робота виконана з помилками, є відповіді лише на частину запитань.
4	Робота виконана із значними помилками, є відповіді лише на окремі питання
0	Робота не виконана, звіт не представлений

Максимальна кількість балів за лабораторну роботу встановлюється за своєчасно та відмінно захищену роботу.

#### Рейтингові бали за одне практичне заняття

Бали	Критерії оцінювання
7	Завдання виконані, зауважень немає, є відповіді на всі запитання
6	Завдання виконані з несуттєвими зауваженнями, у відповідях трапляються неточності
5	Завдання виконані з зауваженнями, є відповіді на більшість запитань
4	Завдання виконані з помилками, є відповіді лише на частину запитань
3	Завдання виконані із значними помилками, є відповіді лише на окремі питання
0	Завдання не виконані, звіт не представлений

За активну роботу під час практичного заняття та виконання завдання студент може отримати 7 балів. Максимальна кількість балів – 28. Максимальна кількість балів за завдання нараховується за його правильне та своєчасне виконання. Терміни виконання завдань встановлюються викладачем на практичних заняттях.

На підсумковому контролі, який встановлюється згідно розкладу, здобувачі освіти дають відповідь на 20 тестових питань з різних розділів робочої програми дисципліни. Кожне питання оцінюється у 2 бали.

У результаті здобувач освіти отримує сумарну оцінку, що отримана за результатом заліку та за рейтингом. Отримана здобувачем кількість балів переводиться до оцінки згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

#### Шкала оцінювання ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS
90 – 100	A
85-89	B
75-84	C
70-74	D
60-69	E
35-59	FX
1-34	F

Таблиця 4.1 – Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.
<b>Змістовий модуль 1</b>												
Тема 1. Види та хімічний склад палива	18	4	6	-	-	8	18	1	2	-	-	15
Тема 2. Нагрівання та охолодження металів	20	4	4	4	-	8	20	1	2	-	-	17
Тема 3. Конструкції полум'яних печей	12	2	-	-	-	10	12	1	-	-	-	11
Тема 4. Основи механіки пічних газів	10	2	-	-	-	8	10	-	-	-	-	10
Тема 5. Основи теплопередачі в печах	14	4	-	2	-	8	14	-	-	2	-	12
Разом за змістовим модулем 1	<b>74</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	-	<b>42</b>	<b>74</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	-	<b>65</b>
<b>Змістовий модуль 2</b>												
Тема 6. Побудова печей	10	2	-	-	-	8	10	-	-	-	-	10
Тема 7. Методи електронагрівання	22	4	4	4	-	10	22	1	-	-	-	21
Тема 8. Печі для безокислювального нагрівання	14	2	-	4	-	8	14	-	-	-	-	14
Тема 9. Спеціальні нагрівальні пристрої	10	2	-	-	-	8	10	-	-	-	-	10

Тема 10. Рекуператори та регенератори	10	2	-	-	-	8	10	-	-	-	-	1 0
Тема 11. Прилади для контролю та регулювання роботи печей	10	2	-	-	-	8	10	-	-	-	-	1 0
<b>Разом годин Модуль 2</b>	<b>76</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>50</b>	<b>76</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>7 5</b>
<b>Разом годин</b>	<b>150</b>	<b>30</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>92</b>	<b>150</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>1 4 0</b>

**РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. 1. Краснокутський П.Г., Колесник Ф.І. Теплотехнічні процеси і конструкції нагрівальних печей. – К.: Віпол., 1995 – 246 с.
2. 2. Ткаченко О.О. Високотемпературні процеси та установки / О.О. Ткаченко. – К.: А.С.К., 2005. – 480 с.