

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**ПРОГРАМА, МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ,  
КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ  
З КУРСУ «ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ ПРОЦЕСИ І ОБ'ЄКТИ  
ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ТЕПЛОТИ»**

**для студентів спеціальності 7.05020202 «Комп'ютерно-інтегровані техно-  
логічні процеси та виробництва»  
усіх форм навчання**

**Харків 2014**

Програма, методичні вказівки, контрольні завдання з курсу «Теплоенергетичні процеси і об'єкти виробництва електроенергії та теплоти».: Тютюник Л. І., Касілов В.Й., Іванова Л.А. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – 40с.

Укладачі:           Л. І. Тютюник  
                          В. Й. Касілов  
                          Л.А. Іванова

Рецензент           В.М. Кошельник

Кафедра парогенераторобудування

Затверджено на засіданні кафедри парогенераторобудування НТУ «ХПІ»  
Протокол № 1 від 28 серпня 2014 р.

У авторській редакції

## ВСТУП

Предметом навчальної дисципліни «Теплоенергетичні процеси і об'єкти виробництва електроенергії та теплоти» є вивчення основних розділів: «Технічна термодинаміка», «Теплообмін та теплопередача», «Котельне устаткування», «Топкові пристрої та паливо».

Значну увагу надається термодинамічним властивостям та процесам парогазових сумішей, розглядаються цикли традиційного теплосилового та холодильного устаткування, цикли прямого перетворення теплової енергії в електричну, деякі нові способи отримання холоду.

Тепломасообмін є однією з основних базових теоретичних дисциплін в процесі підготовки інженерів-теплоенергетиків. Знання, уміння і навички, набуті при вивченні цієї дисципліни, інтенсивно використовуються в спеціальних дисциплінах, в курсовому і дипломному проектуванні. Тепломасообмін є загальноосвітньою дисципліною, в ній велика увага приділена специфічним питанням теплообміну, характерним для котельних агрегатів, реакторів і парогенераторів ТЕС і АЕС. Наприклад, в навчальній програмі врахована та обставина, що в топках котлів переважаючим є променевий теплообмін.

У матеріалі курсу викладається фізична сутність робочих процесів в елементах і вузлах парового котла, описуються основні компоновки, різноманітні конструкції енергетичних, водогрійних та пароводогрійних котлів, які працюють як на твердому паливі, так і на газі та мазуті. Наводяться основні положення методики аеродинамічного опору елементів газоповітряного тракту котла, вибору тягодуттєвої машини та теплової схеми котельної установки.

Також розглядаються допоміжні прилади котельних установок, у тому числі золоуловлювання, золошлаковидалення, тягодуттєві машини.

Студенти повинні знати загальну характеристику та конструкцію котлів, уміти визначати маркування котельного агрегату.

З метою закріплення лекційного матеріалу проводяться практичні заняття, де студенти засвоюють методику розрахунку теплового балансу та ККД котла, набувають навичок розрахунків теплових схем котельних.

Для контролю якості навчання студенти повинні виконати контрольні роботи.

Оцінку якості вивчення теоретичного матеріалу слід здійснювати за кількістю правильних відповідей на наведені в кінці розділу питання для самоперевірки. Форма відповідей може бути короткою: «так», «ні», «не знаю» або мати аргументоване обґрунтування. У разі виникнення утруднень з відповідями або невпевненості в їх правильності слід звернутися до пояснень, наведених в основній і додатковій літературі або за письмовою чи усною консультацією до викладача.

Після вивчення теоретичного матеріалу можна приступити до виконання контрольної роботи за відповідним розділом. Планомірне і послідовне вивчення теорії і рішення задач контрольних робіт є основним етапом підготовки до іспитів. Виконання контрольних робіт може бути здійснене із залученням комп'ютерної техніки шляхом самостійної розробки алгоритмів і програм або з використанням програм, наведених у літературі.

Основними вимогами до іспитів є знання теорії і розуміння фізичної суті процесів теплообміну, уміння вирішувати практичні задачі і аналізувати отримані результати.

Самостійна робота студентів щодо загального обсягу лекційного матеріалу передбачає вивчення багатьох питань.

Для кращого засвоєння деяких розділів курсу використовуються технічні засоби навчання: ПЕОМ, плакати, макети котлів.

У розділі «Тепломасообмін» вивчається тема «Тепловий розрахунок рекуперативних теплообмінних апаратів». Відповідно до цього метою курсової роботи є закріплення теоретичних і практичних знань, придбаних на лекційних і практичних заняттях, та реалізація останніх при розв'язанні конкретно поставленої задачі. Задачею курсової роботи є виконання теплового розрахунку пароохолодника поверхневого типу.

З метою закріплення лекційного матеріалу проводяться лабораторні роботи:

1. Лабораторна робота на тему: «Конвективний теплообмін при вільному русі повітря біля горизонтального трубопроводу».
2. Лабораторна робота на тему: «Визначення теплових втрат через ізоляцію елементів котельного устаткування».

## РОЗДІЛ 1. ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА

### 1. Основні поняття та вихідні положення термодинаміки

1. Предмет та метод термодинаміки.
2. Термодинамічна система.
3. Термодинамічні параметри стану.
4. Рівняння стану.
5. Термодинамічний процес.

#### Методичні вказівки

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти їх. В процесі вивчення цієї теми слід звернути увагу на основні положення термодинаміки.

**Література:** [7, стор. 6-11 ]

#### Питання для самоконтролю

1. Термодинаміка.
2. Технічна термодинаміка.
3. Термодинамічна система.
4. Навколишнє середовище.
5. Теплоізолююча або адіабатна система.
6. Тиск, температура, питомий об'єм.
7. Рівняння стану ідеальних газів.
8. Рівняння стану реальних газів.
9. Термодинамічний процес.
10. Релаксація, тимчасова релаксація.
11. Процес рівноваги.

### 2. Елементи термодинаміки

1. Перший закон термодинаміки.
  - 1.1 Збереження енергії.
  - 1.2 Температура.
  - 1.3 Теплоота.
2. Додаток першого закону термодинаміки.
  - 2.1 Робота.
  - 2.2 Внутрішня енергія.
  - 2.3 Ідеальний газ.
  - 2.4 Основні термодинамічні процеси.

3. Другий закон термодинаміки.
- 3.1 Оборотність.
- 3.2 Цикл Карно.
- 3.3 Ентропія.
- 3.4 Внутрішній відносний ККД.

### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення. Слід звернути особливу увагу на елементи термодинаміки.

**Література:** [ 6, стор. 45-57 ]

### **Питання для самоконтролю**

1. Термодинаміка.
2. Абсолютна температурна шкала або шкала Кельвіна.
3. Перший закон термодинаміки.
4. Адіабатний процес.
5. Ізобарний процес.
6. Другий закон термодинаміки.
7. Робота ідеального двигуна (цикл Карно).
8. T-S діаграма, P-V діаграма.

### **3. Основні термодинамічні процеси в газах, парі та їх сумішах**

1. Термодинамічні процеси ідеальних газів в закритих системах.
2. Термодинамічні процеси реальних газів.
3. Суміші ідеальних газів.
4. Вологе повітря.

### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення. Слід звернути особливу увагу на термодинамічні процеси які відбуваються в газі, парі та їх сумішах.

**Література:** [7, стор. 30-45 ]

### **Питання для самоконтролю**

1. Метод дослідження процесів.
2. Изобарний процес.
3. Изотермічний процес.
4. Адіабатний процес.
5. Політропний процес.
6. Процес пароутворення. Основні поняття та визначення.
7. Волога насичена пара.
8. Насичена пара.
9. Суха насичена пара.
10. Перегріта пара.
11. Визначення параметрів води та пари.
12. T,S – діаграма водяної пари.
13. Основні термодинамічні процеси водяної пари.
14. Ізохорний процес.
15. Изобарний процес.
16. Адіабатний процес.
17. Изотермічний процес.
18. Закон Дальтона.
19. Способи задання суміші.
20. Газова стала суміші газів.
21. Уявна молекулярна маса суміші.
22. Співвідношення між об'ємними та масовими долями.
23. Теплоємність сумішей ідеальних газів.
24. Вологовміст, абсолютна та відносна вологість.
25. Теплоємність та ентальпія вологого повітря.

### **4. Теплові двигуни**

1. Двигуни внутрішнього згорання.
  - 1.1. Цикл Отто.
  - 1.2. Забруднення навколишнього середовища.
  - 1.3. Каталітичні конвертери.
  - 1.4. Дизельні двигуни.
  - 1.5. Роторні двигуни.
2. Турбіни.
  - 2.1. Течія рідин та газів.
3. Властивості реальних газів.
  - 3.1. Цикл Ренкіна.
- 3.2. Газотурбінне устаткування. Двигуни внутрішнього згорання.
4. Холодильні машини.
  - 4.1. Холодильний цикл.

## 4.2. Теплові насоси.

### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення. Слід звернути особливу увагу на принципи роботи ДВС, парові та газові турбіни, холодильні машини.

**Література:** [6, стор. 59-85 ]

### **Питання для самоконтролю**

1. Принцип роботи бензинового ДВС.
2. Термодинамічний цикл Отто.
3. Шкідливі викиди в атмосферу при роботі ДВС.
4. Фотохімічний смог.
5. Каталізатори.
6. Теоретичний цикл Дизеля.
7. Двигун Ванкеля.
8. Теоретичний цикл парової турбіни (цикл Ренкіна).
9. ГТУ.
10. Цикл Стерлінга.
11. Цикл Карно для холодильника.
12. Робота теплового насосу в залежності від пори року.



## РОЗДІЛ 2 ТЕПЛООБМІН ТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

### 5. Основи теорії теплообміну

1. Способи передачі теплоти
2. Кількісні характеристики переносу теплоти

#### Методичні вказівки

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

В процесі вивчення теми необхідно пам'ятати, що при передачі теплоти теплопровідністю, конвекцією і випромінюванням, які можуть здійснюватися одночасно, Конвективний теплообмін має вирішальне значення. При цьому він є найбільш складним фізичним процесом і, відповідно, найбільш важким в освоєнні.

**Література:** [7, стор. 69-70; 8, стор. 4-5 ]

#### Питання для самоконтролю

1. Теплопровідність.
2. Конвективний теплоперенос.
3. Конвективна тепловіддача.
4. Щільність теплового потоку.
5. Тепловий потік.

### 6. Теплопровідність

1. Основний закон теплопровідності.
2. Коефіцієнт теплопровідності.
3. Перенос теплоти теплопровідністю при стаціонарному режимі.

#### Методичні вказівки

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття та визначення.

Теплопровідність в різних безперервно діючих теплообмінних апаратах при тривалих незмінних температурах внутрішнього і зовнішнього середовища практично не залежить від часу, тобто в цьому випадку процес передачі теплоти є стаціонарним. Тому краєві задачі стаціонарної теплопровідності за граничних умов I і III родів мають велике практичне значення.

**Література:** [ 7, стор. 70-77; 8, стор. 8-34 ]

### **Питання для самоконтролю**

1. Основний закон теплопровідності.
2. Теплопровідність плоскої стінки.
3. Теплопровідність циліндричної стінки.
4. Теплопровідність шарової стінки та тіл неправильної форми.
5. Теплопровідність тіл з внутрішніми джерелами теплоти.
6. Температурне поле.
7. Ізотермічна поверхня.
8. Градієнт температури.
9. Коефіцієнт теплопровідності.
10. Многошарова та одношарова поверхня.
11. Контактний термічний опір.

## **7. Конвективний теплообмін (тепловіддача)**

1. Загальні поняття та визначення
2. Диференційне рівняння теплообміну
3. Поняття методу аналізу розмірностей та теорії подібності

### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття та визначення.

Основним завданням теорії конвективного теплообміну є отримання залежностей для визначення коефіцієнта тепловіддачі, який на відміну від коефіцієнта теплопровідності не є фізичним параметром тіла, а характеризує теплову взаємодію рухомого теплоносія і твердої поверхні. Ця взаємодія залежить від великої кількості чинників, таких як швидкість руху рідини, температур поверхні нагріву і рідини, фізичних властивостей рідини, форми і розмірів поверхні і інших характеристик. Розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі ускладнюється тим, що перелічені вище параметри взаємопов'язані. Наприклад, в'язкість, щільність, коефіцієнт теплопровідності рідин залежать від температури, швидкість руху рідини, у свою чергу, залежить від в'язкості і т.п. Вимушена конвекція часто супроводжується вільною конвекцією. Тому коефіцієнт тепловіддачі як комплексна характеристика конвективного теплообміну повинен враховувати всі особливості його протікання. У зв'язку з цим необхідно розібратися, перш за все, з фізичною природою процесу конвективного теплообміну, звернути увагу на умови руху рідини (вимушений або вільний, ламінарний або турбулентний режими течії), на умови виникнення і розвитку гідродинамічного і теплового приграничних шарів. Звернути увагу

на співвідношення товщини цих шарів залежно від фізичних властивостей рідин, тобто від чисел Прандтля.

**Література:** [7, стор. 77-83; 8, стор. 34-69 ]

**Питання для самоконтролю**

1. Конвективний теплообмін.
2. Види руху.
3. Коефіцієнт тепловіддачі.
4. Диференційне рівняння теплообміну.
5. Основний закон конвективного теплообміну.
6. Граничний шар.
7. Теорія подібності.
8. Критерії подібності.

**8. Теплообмін в рідинах та газах**

1. Тепловіддача при обтіканні плоскої поверхні (пластини).
2. Тепловіддача при течії рідини в трубах.

**Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття та визначення.

Вибір плоскої поверхні теплообміну в якості першого об'єкта вивчення тепловіддачі обумовлений простотою теоретичного аналізу процесів, що відбуваються в приграничних шарах. Зокрема, при ламінарному режимі течії вдається встановити співвідношення між товщиною гідродинамічного і теплового приграничних шарів, яке залежить тільки від числа Прандтля, а також отримати без допомоги дослідів критерійне рівняння тепловіддачі з точністю до постійних [11].

**Література:** [ 8, стор. 69-94]

**Питання для самоконтролю**

1. Гідродинамічні умови розвитку процесу.
2. Тепловіддача.
3. Тепловіддача при ламінарному режимі.
4. Тепловіддача при турбулентному режимі.

## 9. Променевий теплообмін

1. Описування процесу та основні визначення.
2. Теплообмін випромінюванням системи тіл в прозорому середовищі.
3. Використання екранів для захисту від випромінювання.
4. Перенос променевої енергії в поглинаючому середовищі.

### Методичні вказівки

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття та визначення.

При вивченні теми слід засвоїти основні поняття і визначення: суцільний і селективний спектри, інтегральне і монохроматичне випромінювання, види променевих потоків і т.п. Особливо ретельно необхідно розібратися у фізичній суті потоків ефективного і результуючого випромінювань, а також у способах їх визначення і взаємозв'язку. Необхідно розрізняти чорне випромінювання і випромінювання реальних тіл (сіре). Чорне випромінювання описується законами Планка, Віна, Стефана–Больцмана. Випромінювання сірих тіл слід розглядати як наближення до чорного тіла, що описується вищенаведеними законами шляхом введення поняття степеня чорноти сірого тіла на основі закону Кірхгофа. Розглядаючи закон Ламберта, необхідно враховувати, що багато реальних тіл (наприклад, поліровані метали) не підкоряються дифузному випромінюванню.

**Література:** [ 7, стор. 90-95; 8, стор. 160-193 ]

### Питання для самоконтролю

1. Закони теплового випромінювання.
2. Види променевих потоків.
3. Закон Планка.
4. Закон Стефана-Больцмана.
5. Закон Кірхгофа.
6. Закон Ламберта.
7. Теплообмін при наявності та відсутності екрану.
8. Кутові коефіцієнти.
9. Інтенсивність випромінювання.
10. Коефіцієнт поглинання.
11. Закон Бугера.

## 10. Теплопередача

1. Складний теплообмін.

2. Теплопередача між двома рідинами через стінку яка їх розділяє.
3. Інтенсифікація теплопередачі.
4. Теплова ізоляція.

### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття та визначення. Слід звернути особливу увагу на коефіцієнт теплопередачі.

**Література:** [ 7, стор. 97-103; 8, стор. 193-220 ]

### **Питання для самоконтролю**

1. Складний теплообмін та теплопередача.
2. Теплопередача через стінку.
3. Теплопередача через складну стінку.
4. Інтенсифікація процесів теплопередачі.
5. Коефіцієнт теплопередачі.
6. Коефіцієнт оребрення.
7. Теплоізолятори.
8. Вибір теплоізоляторів для трубопроводів.

## **11. Теплообмінні апарати**

1. Загальні положення.
2. Класифікація теплообмінних апаратів.
3. Основні положення та рівняння теплового розрахунку.
4. Рекуперативні апарати.

### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття та визначення.

В процесі вивчення цієї теми необхідно звернути увагу на класифікацію теплообмінних апаратів за принципом дії, а також на те, що найбільш розповсюдженими в теплоенергетиці є рекуперативні теплообмінники. Слід мати чітке уявлення про те, що основу теплового розрахунку таких апаратів складають два рівняння: рівняння теплового балансу і рівняння теплопередачі. При цьому введення поняття «водяний еквівалент» в рівняння теплового балансу дозволило значно спростити його вираз і зв'язати з цим операції. В новій системі одиниць СІ це поняття не має сенсу, тому що питома теплоємність води не дорівнює одиниці. Тому більш доцільним є використання тер-

міну «витратна теплоємність»  $C = C \cdot c_p$ . В залежності від співвідношення витратних теплоємностей гарячого  $C_1$  і холодного  $C_2$  теплоносіїв існують різні схеми їх взаємного руху уздовж поверхні теплообміну.

Необхідно розділяти задачі, які вирішуються при конструкторському і повірковому теплових розрахунках теплообмінних апаратів. Слід розібратись в методах визначення середнього температурного напору і кінцевих температур теплоносіїв.

Слід також пам'ятати, що тепловий розрахунок теплообмінного апарату не обмежується тільки визначенням величини його поверхні, або кінцевих температур теплоносіїв. Важливим є розрахунок його аеродинамічного і гідравлічного опорів, які визначають енергетичні витрати на рух теплоносіїв.

**Література:** [ 8, стор. 245-261; 7, стор. 103-110; 11, стор.441-459 ]

### **Питання для самоконтролю**

1. Теплообмінний апарат.
2. Рекуперативний апарат.
3. Регенеративний апарат.
4. Поверхневий апарат.
5. Зміщувальний апарат.
6. Основні положення теплового розрахунку.
7. Прямотечія, протитечія.
8. Середній температурний напір.
9. Середньологарифмічний температурний напір.
10. Коефіцієнт теплопередачі.
11. Розрахунок кінцевої температури робочої рідини.
12. Рівняння теплопередачі.
13. Рівняння теплового балансу.
14. Перевірочні теплові розрахунки.
15. Проектні (конструктивні) теплові розрахунки.

## РОЗДІЛ 3 КОТЕЛЬНЕ УСТАТКУВАННЯ

### 12 Основні поняття про котельне устаткування та їх роботу

1. Загальне положення
2. Загальні характеристики котлів
3. Компоновка котлів
4. Прямоточні котли
5. Пересувні котли
6. Електрокотли
7. Котли з природною циркуляцією низького тиску
8. Енергетичні котли з природною циркуляцією
9. Водогрійні та паро водогрійні котли

#### Методичні вказівки

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття та визначення. Слід звернути особливу увагу на конструкцію котельних агрегатів та їх роботу, призначення.

**Література:** [1, стор. 303–361; 3, стор. 17–63; 4, ч.2, стор. 5–40; 5, стор. 215–280; 9, стор. 177–291; 10, стор. 5–37 ]

#### Питання для самоконтролю

1. Загальні характеристики котлів.
2. Котли з ПЦ низького тиску.
3. Енергетичні котли з ПЦ.
4. Прямоточні котли.
5. Компоновка котлів.
6. Низьконапірні, високонапірні, паровиробничі установки.
7. Котли непрямої дії і з неводяними теплоносіями.
8. Пересувні котли.
9. Електрокотли.
10. Водогрійні і пароводогрійні котли. Основні характеристики котлів.
11. Конструкції водогрійних котлів.
12. Пароводогрійні котли.
13. Умови і ефективність застосування котлів у технологічних системах.
14. Котли на виробничих газах, що відходять.
15. Котли, що використовують теплоту технологічного продукту.

16. Отримання пари в елементах технологічних установок і його перегрівання.
17. Особливості енерготехнологічного тепловикористання.
18. Енерготехнологічні агрегати для високотемпературних і низькотемпературних процесів.
19. Парові котли Білгородського заводу «Енергомаш».
20. Парові котли Бійського котельного заводу.
21. Парові котли Таганрогського заводу «Червоний котельщик».
22. Особливості роботи сталевих прямоточних водогрійних котлів.
23. Газомазутні водогрійні котли.
24. Водогрійні котли на твердому паливі.
25. Конструкція комбінованих водогрійних котлів на базі серійних прямоточних водогрійних котлів.

### **13. Котельне устаткування**

1. Загальні відомості.
2. Паровий котел та його основні елементи.
3. Поверхні нагріву котла.
4. Конструкції вітчизняних котлів.
5. Тепловий баланс парового котла, ККД.
6. Технологічна схема котельного устаткування.

#### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття та визначення. Слід звернути особливу увагу на розвиток конструкції котлів вітчизняних та закордонних виробників.

**Література:** [ 7, стор. 146-159 ]

#### **Питання для самоконтролю**

1. Розвиток конструкцій котлів.
2. Склад сучасного парового котла.
3. Випаровуванні поверхні.
4. Пароперегрівники.
5. Низькотемпературні поверхні нагріву.
6. Барабанні котли.
7. Котли-утилізатори.



## 14. Питання експлуатації котельного устаткування

1. Внутрішньокотлові процеси та водний режим парового котла.
2. Корозія поверхонь нагріву.
3. Особливості експлуатації котельного устаткування.
4. Охорона навколишнього середовища від шкідливих викидів котельних агрегатів.

### Методичні вказівки

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття та визначення. Слід звернути особливу увагу на експлуатацію котла та питання які пов'язані з цим.

**Література:** [ 7, стор. 160-166 ]

### Питання для самоконтролю

1. Внутрішньо котловий режим.
2. Зовнішня корозія.
3. Високотемпературна корозія.
4. Низькотемпературна корозія.
5. Внутрішня корозія.
6. ПДК.
7. Золоуловлювачі.
8. Призначення димової труби.
9. Котельня спроектована на чотири однотипні котлоагрегати з загальною димовою трубою. При закінченні монтажу першого котла він був введеним в експлуатацію. Взимку верхня частина труби почала руйнуватися. Чому?
  10. З якою метою в топці котла піддержується розрідження?
  11. До чого може призвести погашення факелу в топці котла?
  12. Чому недопустимо осадження накипу на внутрішній поверхні труби котла?
  13. Для чого потрібна неприливна продувка котла та можливо використати її теплоту?
  14. Як вплине на роботу електрофільтру збільшення швидкості димових газів?

## РОЗДІЛ 4 ТОПКОВІ ПРИСТРОЇ ТА ПАЛИВО

### 15. Види та характеристики палива

1. Склад та основні характеристики твердого палива
2. Склад та основні характеристики рідкого палива
3. Склад та основні характеристики газоподібного палива
4. Теплоота згоряння палива
5. Умовне паливо. Приведені характеристики
6. Класифікація палива

#### Методичні вказівки

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття та визначення. Слід звернути особливу увагу на характеристики твердого, рідкого та газоподібного палива.

**Література:** [ 7, стор. 118-126 ]

#### Питання для самоконтролю

1. Сухий беззольний стан.
2. Робочий стан.
3. Органічна сірка, колчеданна сірка.
4. Технічний аналіз палива.
5. Вологість, зольність.
6. Попутний газ, скраплений газ.
7. Коксовий та доменний газ.
8. Теплоота згоряння.
9. Умовне паливо.
10. Буре, кам'яне вугілля.
11. Полуантрацити та антрацити.

### 16. Топкові пристрої для газу, мазуту та твердого палива

1. Основні положення і класифікація газомазутних пальникових пристроїв.
2. Конструкції газомазутних пальникових пристроїв.
3. Газомазутні передтопки і пальникові пристрої з двоступінчатим спалюванням палива.
4. Шаруваті топкові пристрої для спалювання твердого палива.
5. Пиловугільні топкові пристрої і пальники.

### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти їх. Слід звернути особливу увагу на конструкцію топкових пристроїв та їх роботу.

**Література:** [1, стор. 62–182; 2; 3, стор. 63–91; ;4, ч.1, стор. 43–126; 5, стор. 74–215; 9, стор. 15–161; 10, стор. 37–89 ]

### **Питання для самоконтролю**

1. Класифікація топок і загальні характеристики процесів.
2. Класифікація камер для підведення, нагрівного теплоносія.
3. Загальна класифікація топкових пристроїв.
4. Показники роботи топкових пристроїв.
5. Вимоги, що пред'являються до топкових пристроїв котлів.
6. Характеристики процесу горіння твердого палива в щільному шарі.
7. Спалювання газоподібного палива. Загальні положення.
8. Принципи організації спалювання газового палива.
9. Умови раціонального спалювання газоподібного палива.
10. Топки, класифікація пальників для газоподібного палива.
11. Спалювання газоподібного палива з низькою теплотою згорання.
12. Спалювання рідкого палива. Загальні положення.
13. Схеми розпилювання рідкого палива. Мазутні форсунки.
14. Основні положення і класифікація газомазутних пальникових пристроїв.
15. Спалювання твердого палива в шарі. Класифікація шараруватих топок.
16. Спалювання вугільного пилу в топках котлів. Особливості горіння вугільного пилу.
17. Розташування пальників на стінках топкової камери.
18. Топки для факельного спалювання вугільного пилу з гранульо-ваним шлаковидаленням.
19. Топки, для факельного спалювання вугільного пилу з рідким шлаковидаленням.

### **17. Паливне господарство котельного устаткування**

1. Загальні відомості.
2. Паливне господарство при використанні твердого палива.
3. Паливне господарство при використанні мазуту.
4. Газопостачання котельних установок.

### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти їх. Слід звернути особливу увагу на паливне господарство та паливоподачу котельних установок.

**Література:** [1, стор. 476–483; 3, стор. 156–175; 9, стор. 306–319 ]

### **Питання для самоконтролю**

1. Вимоги до паливного господарства котельних.
2. Доставка твердого палива.
3. Склади твердого палива.
4. Підготовка твердого палива до спалювання.
5. Схема паливного господарства при роботі котла на твердому паливі.
6. Доставка мазуту.
7. Підготовка мазуту до спалювання.
8. Схема паливного господарства при роботі котла на мазуті.
9. Газопостачання котельних.
10. Схема паливного господарства при роботі котла на газі.

## МОДУЛЬНІ КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ

### Модульна контрольна робота №1 на тему: «Термодинаміка. Тепломасообмін. Теплопередача».

#### Перелік рекомендованих питань:

1. Термодинаміка.
2. Технічна термодинаміка.
3. Термодинамічна система.
4. Навколишнє середовище.
5. Теплоізолююча або адіабатна система.
6. Тиск, температура, питомий об'єм.
7. Рівняння стану ідеальних газів.
8. Рівняння стану реальних газів.
9. Термодинамічний процес.
10. Релаксація, тимчасова релаксація.
11. Процес рівноваги.
12. Термодинаміка.
13. Абсолютна температурна шкала або шкала Кельвіна.
14. Перший закон термодинаміки.
15. Адіабатний процес.
16. Ізобарний процес.
17. Другий закон термодинаміки.
18. Робота ідеального двигуна (цикл Карно).
19. T-S діаграма, P-V діаграма.
20. Метод дослідження процесів.
21. Ізобарний процес.
22. Ізотермічний процес.
23. Адіабатний процес.
24. Політропний процес.
25. Процес пароутворення. Основні поняття та визначення.
26. Волога насичена пара.
27. Насичена пара.
28. Суха насичена пара.
29. Перегріта пара.
30. Визначення параметрів води та пари.
31. T,S – діаграма водяної пари.
32. Основні термодинамічні процеси водяної пари.
33. Ізохорний процес.
34. Ізобарний процес.

35. Адиабатний процес.
36. Ізотермічний процес.
37. Закон Дальтона.
38. Способи задання суміші.
39. Газова стала суміші газів.
40. Уявна молекулярна маса суміші.
41. Співвідношення між об'ємними та масовими долями.
42. Теплоємність сумішей ідеальних газів.
43. Вологовміст, абсолютна та відносна вологість.
44. Теплоємність та ентальпія вологого повітря.
45. Принцип роботи бензинового ДВС.
46. Термодинамічний цикл Отто.
47. Шкідливі викиди в атмосферу при роботі ДВС.
48. Фотохімічний смог.
49. Каталізатори.
50. Теоретичний цикл Дизеля.
51. Двигун Ванкеля.
52. Теоретичний цикл парової турбіни (цикл Ренкіна).
53. ГТУ.
54. Цикл Стерлінга.
55. Цикл Карно для холодильника.
56. Робота теплового насоса в залежності від пори року.
57. Теплопровідність.
58. Конвективний теплоперенос.
59. Конвективна тепловіддача.
60. Щільність теплового потоку.
61. Тепловий потік.
62. Основний закон теплопровідності.
63. Теплопровідність плоскої стінки.
64. Теплопровідність циліндричної стінки.
65. Теплопровідність шарової стінки та тіл неправильної форми.
66. Теплопровідність тіл з внутрішніми джерелами теплоти.
67. Температурне поле.
68. Ізотермічна поверхня.
69. Градієнт температури.
70. Коефіцієнт теплопровідності.
71. Багатошарова та одношарова поверхня.
72. Контактний термічний опір.
73. Конвективний теплообмін.
74. Види руху.
75. Коефіцієнт тепловіддачі.
76. Диференціальне рівняння теплообміну.

77. Основний закон конвективного теплообміну.
78. Граничний шар.
79. Теорія подібності.
80. Критерії подібності.
81. Гідродинамічні умови розвитку процесу.
82. Тепловіддача.
83. Тепловіддача при ламінарному режимі.
84. Тепловіддача при турбулентному режимі.
85. Закони теплового випромінювання.
86. Види променевих потоків.
87. Закон Планка.
88. Закон Стефана-Больцмана.
89. Закон Кирхгофа.
90. Закон Ламберта.
91. Теплообмін при наявності та відсутності екрану.
92. Кутові коефіцієнти.
93. Інтенсивність випромінювання.
94. Коефіцієнт поглинання.
95. Закон Бугера.
96. Складний теплообмін та теплопередача.
97. Теплопередача через стінку.
98. Теплопередача через складну стінку.
99. Інтенсифікація процесів теплопередачі.
100. Коефіцієнт теплопередачі.
101. Коефіцієнт оребрення.
102. Теплоізолятори.
103. Вибір тепло ізоляторів для трубопроводів.

**Модульна контрольна робота №2 на тему:  
«Теплообмінні апарати.  
Котельне устаткування.  
Топкові пристрої».**

**Перелік рекомендованих питань:**

1. Теплообмінний апарат.
2. Рекуперативний апарат.
3. Регенеративний апарат.
4. Поверхневий апарат.
5. Зміщувальний апарат.
6. Основні положення теплового розрахунку.
7. Прямотечія, протитечія.
8. Середній температурний напір.

9. Середньологарифмічний температурний напір.
10. Коефіцієнт теплопередачі.
11. Розрахунок кінцевої температури робочої рідини.
12. Рівняння теплопередачі.
13. Рівняння теплового балансу.
14. Перевірочні теплові розрахунки.
15. Проектні (конструктивні) теплові розрахунки.
16. Загальні характеристики котлів.
17. Котли з ПЦ низького тиску.
18. Енергетичні котли з ПЦ.
19. Прямоточні котли.
20. Компоновка котлів.
21. Низьконапірні, висконапірні, паровиробничі установки.
22. Котли непрямої дії і з неводяними теплоносіями.
23. Пересувні котли.
24. Електрокотли.
25. Водогрійні і пароводогрійні котли. Основні характеристики котлів.
26. Конструкції водогрійних котлів.
27. Пароводогрійні котли.
28. Умови і ефективність застосування котлів у технологічних системах.
29. Котли на виробничих газах, що відходять.
30. Котли, що використовують теплоту технологічного продукту.
31. Отримання пари в елементах технологічних установок і його перегрівання.
32. Особливості енерготехнологічного тепловикористання.
33. Енерготехнологічні агрегати для високотемпературних і низькотемпературних процесів.
34. Парові котли Білгородського заводу «Енергомаш».
35. Парові котли Бійського котельного заводу.
36. Парові котли Таганрогського заводу «Червоний котельщик».
37. Особливості роботи сталевих прямооточних водогрійних котлів.
38. Газомазутні водогрійні котли.
39. Водогрійні котли на твердому паливі.
40. Конструкція комбінованих водогрійних котлів на базі серійних прямооточних водогрійних котлів.
41. Розвиток конструкцій котлів.
42. Склад сучасного парового котла.
43. Випаровуванні поверхні.
44. Пароперегрівники.
45. Низькотемпературні поверхні нагріву.
46. Барабанні котли.



47. Котли-утилізатори.
48. Внутрішньо котловий режим.
49. Зовнішня корозія.
50. Високотемпературна корозія.
51. Низькотемпературна корозія.
52. Внутрішня корозія.
53. ПДК.
54. Золоуловлювачі.
55. Призначення димової труби.
56. Котельня спроектована на чотири однотипні котлоагрегати з загальною димовою трубою. При закінченні монтажу першого котла він був введеним в експлуатацію. Взимку верхня частина труби почала руйнуватися. Чому?
57. З якою метою в топці котла піддержується розрідження?
58. До чого може призвести погашення факелу в топці котла?
59. Чому недопустимо осадження накипу на внутрішній поверхні труб котла?
60. Для чого потрібна неприливна продувка котла та можливо використати її теплоту?
61. Як вплине на роботу електрофільтру збільшення швидкості димових газів?
62. Сухий беззольний стан.
63. Органічна сірка, колчеданна сірка.
64. Технічний аналіз палива.
65. Вологість, зольність.
66. Попутний газ, скраплений газ.
67. Коксовий та доменний газ.
68. Теплота згоряння.
69. Умовне паливо.
70. Буре, кам'яне вугілля.
71. полу антрацити та антрацити.
72. Робочий стан.
73. Класифікація топок і загальні характеристики процесів.
74. Класифікація камер для підведення, нагрівного теплоносія.
75. Загальна класифікація топкових пристроїв.
76. Показники роботи топкових пристроїв.
77. Вимоги, що пред'являються до топкових пристроїв котлів.
78. Характеристики процесу горіння твердого палива в щільному шарі.
79. Спалювання газоподібного палива. Загальні положення.
80. Принципи організації спалювання газового палива.
81. Умови раціонального спалювання газоподібного палива.

82. Топки, класифікація пальників для газоподібного палива.
83. Спалювання газоподібного палива з низькою теплотою згорання.
84. Спалювання рідкого палива. Загальні положення.
85. Схеми розпилювання рідкого палива. Мазутні форсунки.
86. Основні положення і класифікація газомазутних пальникових пристроїв.
87. Спалювання твердого палива в шарі. Класифікація шараруватих топків.
88. Спалювання вугільного пилу в топках котлів. Особливості горіння вугільного пилу.
89. Розташування пальників на стінках топкової камери.
90. Топки для факельного спалювання вугільного пилу з гранульо-ваним шлаковидаленням.
91. Топки, для факельного спалювання вугільного пилу з рідким шлаковидаленням.
92. Доставка твердого палива.
93. Склади твердого палива.
94. Підготовка твердого палива до спалювання.
95. Схема паливного господарства при роботі котла на твердому паливі.
96. Доставка мазуту.
97. Підготовка мазуту до спалювання.
98. Схема паливного господарства при роботі котла на мазуті.
99. Газопостачання котельних.
100. Схема паливного господарства при роботі котла на газі.
101. Вимоги до паливного господарства котельних.

**КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ**  
**до курсу «ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ ПРОЦЕСИ І ОБ'ЄКТИ**  
**ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ТЕПЛОТИ»**

**Методичні вказівки**

До виконання завдання і розв'язання задачі слід приступати тільки після вивчення даного розділу курсу. Тільки цілеспрямоване розв'язання задачі принесе користь і допоможе закріпленню знань. Перед виконанням контрольної роботи рекомендується ознайомитися з алгоритмом розв'язання аналогічних задач з навчальної літератури.

Номер варіанта контрольної роботи співпадає з порядковим номером студента в журналі.

Контрольне завдання складається з теоретичної і практичної частин.

**Теоретична частина**

Студенти повинні дати письмові відповіді на питання, номери яких показані в табл. 1.

Таблиця 1 – Номери питань до контрольної роботи

Номер варіанту	Номер теми	Номер питання
1	1	1-3
	5	1-3
	12	1-3
	15	1-3
2	1	4-6
	5	3-5
	12	4-6
	15	4-6
3	1	7-9
	6	1-3
	12	7-9
	15	7-9
4	1	9-10
	6	4-6
	12	10-12
	15	9-11

Продовження табл. 1

5	2	1-3
	6	7-9
	12	13-15
	16	1-3
6	2	4-6
	6	9-11
	12	16-18
	16	4-6
7	2	6-8
	7	1-3
	12	19-21
	16	7-9
8	3	1-2
	7	4-6
	12	22-25
	16	10-12
9	3	3-5
	7	6-8
	13	1-3
	16	13-15
10	3	6-8
	8	1-4
	13	4-7
	16	16
11	3	9-11
	9	1-3
	14	1-3
	16	17-19
12	3	12-14
	9	4-6
	14	4-6
	17	1-3
13	3	15-17
	9	7-9
	14	7-9
	17	4-6
14	3	18-20
	9	9-11
	14	10-12
	17	7-9

Продовження табл. 1

15	3 10 14 17	21-23 1-5 12-14 10
16	3 10 4 11	24-25 6-8 1-4 1-3
17	4 11	5-12 4-15

### **Методичні вказівки до теоретичної частини контрольного завдання**

При оформленні контрольного завдання необхідно повністю наводити формулювання питань. Відповіді на поставлені питання повинні бути вичерпними і супроводжуватися необхідними малюнками і схемами з позначенням усіх елементів, текстом, поясненнями.

### **Практична частина**

#### **Задача 1**

На зовнішній поверхні корпусу бака, що є плоскою металевою стінкою, підтримується постійна температура. Для зменшення теплових втрат в навколишнє середовище корпус бака зовні покривається шаром діатомітової цегли завтовшки  $\delta_d$ , а потім шаром ізоляції товщиною  $\delta_{i3}$ .

Визначити мінімальну товщину шару ізоляції  $\delta_{i3}$ , при якій температура на зовнішній її поверхні не перевищувала б  $t_{c_3}$ . Температуру навколишнього повітря прийняти рівною  $t_{ж}$ , а коефіцієнт тепловіддачі від ізоляції до повітря  $\alpha$ . Визначити також температуру в зоні контакту цегляної кладки і ізоляції  $t_{c_2}$  і щільність теплового потоку, що проходить через ізольовану стінку бака. Вихідні дані до задачі 1 приведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Вихідні дані до задачі 1

Варіант	Матеріал ізоляції	$\lambda_{із}$ , Вт/м <sup>2</sup> °С	$t_{C_1}$ , °С	$\delta_d$ , м	Підваріант	$t_{C_3}$ , °С	$\alpha$ , Вт/м <sup>2</sup> °С	$t_{ж}$ , °С
01	Скловата	0,050	320	0,12	а	40	6	21
02	Шлако-вата	0,109	340	0,14	б	42	8	22
03	Асбест	0,210	360	0,16	в	44	12	23
04	Асбозурит	0,226	380	0,18	г	46	15	24
05	Скловата	0,059	400	0,20	д	48	14	25
06	Шлако-вата	0,121	420	0,22	е	50	13	24
07	Асбест	0,214	440	0,24	ж	52	12	23
08	Асбозурит	0,240	460	0,24	з	54	11	22
09	Зоноліт	0,153	480	0,28	и	56	10	21
10	Совеліт	0,174	500	0,30	к	58	9	20

**Методичні вказівки:**

При рішенні задачі контакт між шарами кладки і ізоляції вважати ідеальним. Для визначення коефіцієнта теплопровідності діатомітової цегли необхідно скористатися формулою:

$$\lambda_o = 0,113 + 0,0023 \cdot t$$

де  $t$  - середня температура шару цегляної кладки.

При цьому  $\lambda_d$  необхідно знаходити методом послідовних наближень. Оскільки температура на межі шарів кладки і ізоляції  $t_{C_2}$  невідома, то нею необхідно задатися, наприклад, в першому наближенні  $t = (t_{C_1} + t_{C_3})/2$  і, визначивши  $\lambda_d$ , здійснити перевірку правильності ухвалення значення температури  $t_{C_2}$  за формулою:

$$t_{C_2} = t_{C_1} - q \cdot \frac{\delta_o}{\lambda_o}$$

Якщо знайдене значення  $t_{C_2}$  відрізняється більш ніж на 5 % від прийнятого, то здійснюється наступне наближення і т.д.

## Задача 2

По сталевому паропроводу зовнішнім діаметром  $d_2$  і товщиною  $\delta$  рухається насичена пара під тиском  $P$ . Коефіцієнт тепловіддачі від пари до внутрішньої поверхні труби  $\alpha_1$ . Паропровід покритий шаром ізоляції завтовшки  $\delta_{із}$  температура навколишнього зовнішнього повітря  $t_{ж}$ , коефіцієнт тепловіддачі від ізоляції до повітря  $\alpha_2$ . Визначити теплові втрати і температуру на зовнішній і внутрішній поверхнях ізоляції. Перевірити раціональність вибору матеріалу ізоляції. Зобразити графічно в масштабі розподіл температур в циліндричній двошаровій стінці за граничних умов III роду. Вихідні дані до задачі 2 приведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Вихідні дані до задачі 2

Варіант	Матеріал ізоляції	$d_2$ , м	$\delta$ , м	$P \cdot 10^{-5}$ Па	$\delta_{із}$ , м	Підваріант	$t_{ж}$ , °C	$\alpha_1$ , Вт/м <sup>2</sup> °C	$\alpha_2$ , Вт/м <sup>2</sup> °C
01	Совеліт	0,060	0,003	6,18	0,008	а	16	160	6
02	Асбозурит	0,076	0,003	7,92	0,010	б	18	170	8
03	Шлак.вата	0,089	0,004	10,03	0,012	в	20	180	10
04	Асбест	0,108	0,004	12,55	0,014	г	22	190	11
05	Діатоміт	0,133	0,005	15,55	0,016	д	24	200	12
06	Совеліт	0,140	0,005	19,08	0,018	е	22	190	11
07	Асбозурит	0,159	0,006	23,20	0,020	ж	20	180	10
08	Шлак.вата	0,168	0,006	27,98	0,022	з	18	170	9
09	Асбест	0,194	0,007	33,48	0,024	и	16	160	8
10	Діатоміт	0,219	0,007	39,78	0,026	к	14	150	7

### **Методичні вказівки:**

Контакт між поверхнями паропроводу і ізоляції вважати ідеальним.

Значення коефіцієнта теплопровідності матеріалу паропроводу вибрати залежно від температури насичення [3]. Значення коефіцієнта теплопровідності матеріалу ізоляції вибрати залежно від середньої температури  $t = (t_s + t_{ж_2}) / 2$  за таблицями теплофізичних властивостей, приведених, наприклад, в таблиці 2 [3].

Раціональність вибору матеріалу ізоляції визначити на підставі умови:

$$\lambda_{из} < \alpha_2 \cdot d_2 / 2.$$

### Задача 3

Через горизонтально розташовану трубу діаметром  $d$  і довжиною  $l$  зі швидкістю  $w$  протікає вода. Визначити середній коефіцієнт тепловіддачі  $\bar{\alpha}$  і тепловий потік  $Q$ , якщо середня температура води  $\bar{t}_{жс}$ , а температура стінки труби  $\bar{t}_c$ . Як зміниться коефіцієнт тепловіддачі, якщо швидкість води збільшиться в 2 і 3 рази? Побудувати залежність  $\bar{\alpha} = f(W)$ . Вихідні дані до задачі 3 приведені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Вихідні дані до задачі 3

Варіант	d, м	l, м	w, м/с	Підваріант	$\bar{t}_{жс}, ^\circ\text{C}$	$\bar{t}_c, ^\circ\text{C}$
01	0,035	3,0	0,75	а	50	100
02	0,040	3,5	0,85	б	60	105
03	0,045	4,0	0,95	в	70	110
04	0,050	4,5	1,05	г	80	115
05	0,055	5,0	1,15	д	90	120
06	0,060	5,5	1,25	е	80	115
07	0,065	6,0	1,35	ж	70	110
08	0,070	6,5	1,45	з	60	105
09	0,075	7,0	1,55	и	50	100
10	0,080	7,5	1,65	к	40	95

#### **Методичні вказівки:**

Тепловий потік визначається за формулою Ньютона-Ріхмана:  $Q = \alpha \cdot F \cdot \Delta t$ , температурний напір  $\Delta t = \bar{t}_c - \bar{t}_{жс}$ . Величину  $\bar{\alpha}$  необхідно визначити з критерійного рівняння  $N_u = f(\text{Re}, \text{Pr}, \varepsilon_e)$ , яке необхідно вибрати з [1, 2] в залежності від режиму руху води в трубі.

### Задача 4

У трубі випарної поверхні котла внутрішнім діаметром  $d$  і довжиною  $l$  рухається кипляча вода зі швидкістю  $W$ . Вода знаходиться під тиском  $P$ . Теплове навантаження поверхні нагріву  $q$ . Визначити коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до киплячої води  $\bar{\alpha}$ , температурний напір  $\Delta t$  і темпера-



туру внутрішньої поверхні стінки труби  $t_c$ . Як зміниться значення коефіцієнта тепловіддачі, якщо температуру стінки збільшити на  $5^\circ\text{C}$  і  $10^\circ\text{C}$ ?

Побудувати графік залежності  $\alpha = f(t_c)$ . Вихідні дані до задачі 4 приведені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Вихідні дані до задачі 4

Варіант	$P \cdot 10^{-5}$ Па	$q \cdot 10^{-5}$ Вт/м <sup>2</sup>	l, м	Підва- ріант	d, м	w, м/с
01	25	2,5	2	а	0,036	1,55
02	30	2,7	3	б	0,038	1,60
03	35	2,9	4	в	0,040	1,65
04	40	3,1	5	г	0,042	1,70
05	45	3,3	6	д	0,044	1,75
06	50	3,5	5,5	е	0,046	1,80
07	55	3,7	4,5	ж	0,048	1,85
08	60	3,9	3,5	з	0,050	1,90
09	65	4,1	2,5	и	0,052	1,95
10	70	4,3	3,2	к	0,054	2,00

**Методичні вказівки:**

Визначення коефіцієнта тепловіддачі при вимушеному русі киплячої рідини в трубах слід здійснювати за формулами, які запропоновано Лабунцов Д.А. [1,2,3]. При цьому можна скористатися методиками рішень подібного типу задач і даними таблиці 9-1, приведеними в розділі 10 [3].

Температуру насичення і інші теплофізичні параметри води слід визначати шляхом інтерполяції табличних даних, приведених в [1,2,3].

**Задача 5**

Обмурівка топки парового котла виконана з шамотної цегли, обшивка – з листової сталі. Між кладкою і обшивкою є зазор, який можна вважати малим в порівнянні з розмірами стін топки. Температура зовнішньої поверхні обмурівки  $t_1$ , температура сталеві обшивки  $t_2$ . Степінь чорноти шамоту  $\epsilon_{ш}$ , степінь чорноти обшивки  $\epsilon_c$ .

Визначити втрати теплоти в навколишнє середовище з одиниці поверхні в одиницю часу при стаціонарному режимі променевого теплообміну  $q_{1,2}$  значення власного  $E_{вл 1}$  і  $E_{вл 2}$  і ефективного  $E_{еф 1}$  і  $E_{еф 2}$ , відображеного  $E_{від 1}$  і

$E_{\text{від } 2}$  і падаючого  $E_{\text{пад } 1}$  і  $E_{\text{пад } 2}$  променевих потоків для шамотної кладки і сталеві обшивки.

Як зміняться втрати теплоти в навколишнє середовище  $q_{1,2}$ , якщо між обмурівкою і обшивкою встановити  $n$  екранів із ступенем чорноти  $\epsilon_{\text{ек}}$ ? Вихідні дані до задачі 5 приведені в таблиці 6.

Таблиця 6 – Вихідні дані до задачі 5

Варіант	$\delta$ , мм	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C	Підва- ріант	$\epsilon_{\text{ш}}$	$\epsilon_{\text{с}}$	$\epsilon_{\text{ек}}$	$n$
01	20	115	40	а	0,72	0,60	0,55	1
02	22	120	45	б	0,74	0,58	0,60	2
03	24	125	50	в	0,76	0,56	0,65	3
04	26	130	55	г	0,78	0,58	0,70	2
05	28	135	60	д	0,80	0,60	0,75	1
06	30	140	55	е	0,78	0,58	0,80	2
07	32	145	50	ж	0,76	0,60	0,75	3
08	34	150	45	з	0,74	0,58	0,70	2
09	36	155	40	и	0,72	0,60	0,65	1
10	38	160	45	к	0,70	0,58	0,60	2

**Методичні вказівки:**

Обмурівку і обшивку слід розглядати як дві безмежні плоскопаралельні сірі поверхні, розділені прозорим середовищем. Втрати теплоти в навколишнє середовище являють собою результуючий тепловий потік  $q_{1,2}$ . У зв'язку з тим, що процес теплообміну є стаціонарним, щільність потоків випромінювання взаємодіючих тіл рівна, тобто  $E_1 = E_2$ . Слід також урахувати, що ступінь чорноти тіла дорівнює його поглинальній здатності, тобто  $E=A$ . При наявності екранів між поверхнями тепловий потік  $q_{1,2}$  можна визначити за формулою:

$$q_{1,2} = \frac{C_0 \cdot \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{\frac{1}{A_1} + 2 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{A_{\text{ЕК}i}} + \frac{1}{A_2} - (n+1)}$$

де  $A_{\text{ЕК}1} = A_{1,\text{ЕК}1} = A_{\text{ЕК}1,\text{ЕК}2} = \dots = A_{\text{ЕК}n,2}$

**Література:** [1], [2].

### Задача 6

Між двома плоско-паралельними пластинами однакої довжини  $l$  і шириною  $a_1$  і  $a_2$  відбувається процес передачі теплоти випромінюванням. Відстань між пластинами  $h$ , степінь чорноти пластин  $\varepsilon_1$  і  $\varepsilon_2$ , температури їх поверхонь  $t_1$  і  $t_2$  (рис.1).

Визначити середні кутові коефіцієнти випромінювання  $\bar{\varphi}_{1,2}$ ,  $\bar{\varphi}_{2,1}$  і тепловий потік  $Q_{1,2}$ . Вихідні дані до задачі 6 приведені в табл.7.

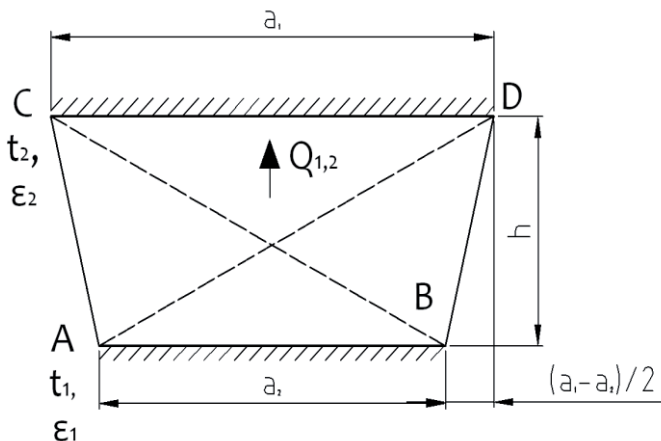


Рисунок 1 – Плоско-паралельні пластини

Таблиця 7 – Вихідні дані до задачі 6

Варіант	$a_1$ , м	$a_2$ , м	$h$ , м	$l$ , м	Підваріант	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C
01	2,0	3,8	3,5	18	а	0,72	0,68	500	150
02	2,2	3,6	4,0	17	б	0,74	0,66	550	200
03	2,4	3,4	4,5	16	в	0,76	0,64	600	250
04	2,6	3,2	5,0	15	г	0,78	0,62	650	300

Продовження таблиці 7

05	2,8	3,0	5,5	14	д	0,80	0,60	700	350
06	3,0	2,8	5,0	15	е	0,78	0,62	750	400
07	3,2	2,6	4,5	16	ж	0,76	0,64	800	450
08	3,4	2,4	4,0	17	з	0,74	0,66	850	500
09	3,6	2,2	3,5	18	и	0,72	0,68	900	550
10	3,8	2,0	3,0	19	к	0,70	0,70	950	600

**Методичні вказівки:**

При визначенні кутових коефіцієнтів між двома паралельними пластинами зручно скористатися методом поточної алгебри, приведеним в [1, с.416-418]. Введемо позначення:  $F_1 = a_1 \cdot l$ ;  $F_2 = a_2 \cdot l$ ;  $F_3 = AC \cdot l$ ;  $F_4 = BD \cdot l$ ;  $F_5 = CB \cdot l$ ;  $F_6 = AD \cdot l$ .

Відповідно до властивостей замикаємості променивих потоків і невогнутості тіла:  $\bar{\varphi}_{1,2} + \bar{\varphi}_{1,3} + \bar{\varphi}_{1,4} = 1,0$ ;  $\bar{\varphi}_{1,1} = 0$ . В зв'язку з цим кутовий коефіцієнт випромінювання  $\bar{\varphi}_{1,2}$  визначається за формулою:

$$\bar{\varphi}_{1,2} = 1 - \bar{\varphi}_{1,3} - \bar{\varphi}_{1,4},$$

де 
$$\bar{\varphi}_{1,3} = \frac{F_1 + F_3 - F_5}{2F_1}; \quad \bar{\varphi}_{1,4} = \frac{F_1 + F_4 - F_6}{2F_1}.$$

Аналогічним чином при  $\bar{\varphi}_{2,1} + \bar{\varphi}_{2,3} + \bar{\varphi}_{2,4} = 1,0$ ;  $\bar{\varphi}_{2,2} = 0$  знаходиться  $\bar{\varphi}_{2,1}$ :

$$\bar{\varphi}_{2,1} = 1 - \bar{\varphi}_{2,3} - \bar{\varphi}_{2,4};$$

де 
$$\bar{\varphi}_{2,3} = \frac{F_2 + F_3 - F_6}{2F_2}; \quad \bar{\varphi}_{2,4} = \frac{F_2 + F_4 - F_5}{2F_2}.$$

Тепловий потік  $Q_{1,2}$  визначається на підставі рівняння:

$$Q_{1,2} = \varepsilon_{np} \cdot C_0 \cdot \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot \bar{H},$$

де 
$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{1 + \bar{\varphi}_{1,2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_1} - 1 \right) + \bar{\varphi}_{2,1} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)};$$

$\bar{H}$  – взаємна поверхня теплообміну, яка знаходиться за формулою:

$$\bar{H} = \bar{H}_1 = \bar{H}_2 = \bar{\varphi}_{1,2} \cdot F_1 = \bar{\varphi}_{2,1} \cdot F_2$$

### Задача 7

Визначити коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням від газів до поверхні пароперегрівача парового котла, якщо їх температура на вході  $t_{r1}$  і на виході  $t_{r2}$

Прийняти температуру поверхні теплообміну (температуру стінки труб) постійною і рівною  $t_c$ , а степінь її чорноти  $\varepsilon_c$ . Розташування труб - шахове, кроки по фронту пучка труб  $S_1$  і глибини  $S_2$ , зовнішній діаметр труб  $d$ . Склад газів:  $n\%$   $\text{CO}_2$  і  $m\%$   $\text{H}_2\text{O}$ . Загальний тиск газів  $P = 98,1$  кПа. Вихідні дані до задачі 7 приведені в таблиці 8.

Таблиця 8 – Вихідні дані до задачі 7

Варіант	$t_{r1}, ^\circ\text{C}$	$t_{r2}, ^\circ\text{C}$	$t_c, ^\circ\text{C}$	$\varepsilon_c$
01	1100	800	470	0,82
02	1120	820	480	0,80
03	1140	840	490	0,78
04	1160	860	500	0,76
05	1180	870	510	0,82
06	1160	850	490	0,80
07	1140	830	480	0,76
08	1120	810	470	0,78
09	1100	790	460	0,80
10	1080	770	450	0,78

Продовження табл. 8

Підваріант	d, м	S <sub>1</sub> , м	S <sub>2</sub> , м	n, %	m, %
а	0,032	0,064	0,064	10	4
б	0,032	0,068	0,068	11	4
в	0,032	0,0672	0,072	12	6
г	0,038	0,076	0,076	13	6
д	0,038	0,078	0,078	14	7
е	0,038	0,08	0,08	15	7
ж	0,028	0,056	0,056	16	8
з	0,028	0,058	0,058	17	8
и	0,028	0,06	0,06	18	9
к	0,028	0,062	0,062	19	9

**Методичні вказівки:**

Для визначення середньої довжини шляху променя в міжтрубному просторі необхідно використовувати наступну залежність:

$$l = 1,08 \cdot d \cdot \left( \frac{S_1 \cdot S_2}{d^2} - 0,785 \right).$$

Степінь чорноти  $\varepsilon_{CO_2}$  і  $\varepsilon_{H_2O}$  необхідно визначати за графіками, які приведені в [1,2,3], при середній температурі газів:

$$t_G = \frac{t_{G_1} + t_{G_2}}{2}.$$

Поглинальна здатність газів визначається за формулою:

$$A_G = \varepsilon_{CO_2} \cdot \left( \frac{T_G}{T_C} \right)^{0,65} + \beta \cdot \varepsilon_{H_2O},$$

де  $\varepsilon_{CO_2}$  і  $\varepsilon_{H_2O}$  визначаються за вищезгаданими графіками при температурі стінки труб  $t_C$ .

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням:

$$\alpha_n = \frac{q_n}{t_G - t_C},$$

де -  $q_n$  щільність теплового потоку випромінюванням (від газів до поверхні труб), визначається за відомими з [1, 2, 3] залежностями.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Сидельковский Л. Н. Котельные установки промышленных предприятий : Учебник для вузов/ Л. Н. Сидельковский – 3 изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Теория горения и топочные устройства: учеб. пособие для студентов высш. учебных заведений / под ред. Д. М. Хзмаляна – М.: Энергия, 1976.
3. Бузников Е. Ф. Производственные и отопительные котельные/  
1. Е. Ф. Бузников – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Парогенераторы / под ред. А.П. Ковалева, – М.;Л.: Энергия, 1988.
5. Рабинович О. М. Котельные агрегаты/ О.М. Рабинович – Л.: Машгиз, 1963.
6. Д.Дэвинс. Энергия: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
7. Теплотехника: учеб. для вузов/ под ред. А.П. Баскакова – М.: Энергоатомиздат, 1991 г.
8. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977. – 341 с.
9. Роддатис К. Ф. Котельные установки: учеб.пособие для студентов не-энергетических специальностей вузов./ К.Ф. Роддатис. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.
10. Александров В. П. Паровые котлы малой и средней мощности / В.П. Александров – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1972. – 200 с.
11. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – 4-е изд. – М.,: Энергия, 1981. – 466с.

## ЗМІСТ

Вступ .....	3
Розділ 1. Технічна термодинаміка .....	5
1. Основні поняття та вихідні положення термодинаміки .....	5
3. Основні термодинамічні процеси в газах, парі та їх сумішах .....	6
4. Теплові двигуни .....	7
Розділ 2. Теплообмін та теплопередача .....	9
5. Основи теорії теплообміну .....	9
6. Теплопровідність .....	9
7. Конвективний теплообмін (тепловіддача) .....	10
8. Теплообмін в рідинах та газах .....	11
9. Променевий теплообмін .....	12
10. Теплопередача .....	12
11. Теплообмінні апарати .....	13
Розділ 3. Котельне устаткування .....	15
12. Основні поняття про котельне устаткування та їх роботу .....	15
13. Котельне устаткування .....	16
14. Питання експлуатації котельного устаткування .....	17
Розділ 4. Топкові пристрої та паливо .....	18
15. Види та характеристики палива .....	18
16. Топкові пристрої для газу, мазуту та твердого палива .....	18
17. Паливне господарство котельного устаткування .....	19
Модульні контрольні роботи .....	21
Контрольне завдання .....	27
Список джерел інформації .....	39



Навчальне видання

Програма, методичні вказівки, контрольні завдання з курсу «Теплоенергетичні процеси і об'єкти виробництва електроенергії та теплоти» для студентів спеціальності 7.05020202 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» усіх форм навчання

Укладачі: ТЮТЮНИК Лариса Іванівна  
КАСІЛОВ Віктор Йосипович  
ІВАНОВА Лідія Анатоліївна

Відповідальний за випуск                      О. В. Єфімов  
Роботу до друку рекомендував              Е. Г. Братута

В авторській редакції

Підписано до друку 04.09.2014 р.  
Формат 60x84/16. Папір офсетний. Друк цифровий.  
Гарнітура Georgia. Ум. друк. арк. 2,38.  
Наклад 50 прим. Зам. № 20951

Віддруковано в ТОВ «ДРУКАРНЯ МАДРИД»  
61024, м. Харків, вул. Ольмінського, 11  
Тел.: (057) 756-53-25  
www.madrid.in.ua    e-mail: info@madrid.in.ua