

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення практичних занять та організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ТЕРМОДИНАМІКА І ТЕПЛОМАСООБМІН»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія
галузі знань 19 – Архітектура та будівництво,
освітня програма «Цивільна інженерія»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

Методичні рекомендації до проведення практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Термодинаміка і тепломасообмін»: для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія галузі знань 19 – Архітектура та будівництво, освітня програма «Цивільна інженерія») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Ю. О. Бурда. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 44 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. Ю. О. Бурда

Рецензент

Р. Б. Ткаченко, кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою теплогазопостачання і вентиляції, протокол № 5 від 12.12.2024

Методичні рекомендації призначені для здобувачів спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. Подано вимоги до оформлення, засоби та послідовність виконання завдань, список рекомендованих джерел, наведено приклади оформлення робіт.

ЗМІСТ

1 АНАЛІЗ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ТЕПЛОВИХ МАШИНАХ	5
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 1	6
2 ВИВЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ЦИКЛІВ	6
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 2	8
3 ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РОБОЧИХ ТІЛ.....	8
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 3	10
4 РІВНЯННЯ СТАНУ І ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ТЕРМОДИНАМІЦІ	11
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 4	12
5 ТЕРМОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ В РІЗНИХ ТИПАХ КОТЛІВ	12
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 5	14
6 ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....	15
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 6	16
7 ОЦІНКА ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ В ТРУБОПРОВОДАХ.....	17
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 7	19
8 ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В УМОВАХ РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ	19
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 8	21
9 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ДЛЯ РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ	21
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 9	23
10 РОЛЬ КОНВЕКЦІЇ ТА РАДІАЦІЇ У ПРОЦЕСАХ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ	23
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 10	26
11 ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ЧЕРЕЗ ПЛОСКІ ТА ЦИЛІНДРИЧНІ ПОВЕРХНІ	26
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 11	28
12 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ МАСОПЕРЕНЕСЕННЯ В ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМАХ.....	29
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 12	31
13 ВИВЧЕННЯ ДИФУЗІЇ В ГАЗАХ ТА РІДИНАХ	32
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 13	34
14 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ МАСОПЕРЕДАЧІ ДЛЯ РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩ	35
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 14	37

15 МАСОПЕРЕДАЧА В ПРОЦЕСАХ ВИПАРОВУВАННЯ ТА КОНДЕНСАЦІЇ	37
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 15	39
16 МАСОПЕРЕНЕСЕННЯ В СИСТЕМАХ З ПРИМУСОВОЮ ЦИРКУЛЯЦІЄЮ	40
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 16	42
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	43

1 АНАЛІЗ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ТЕПЛОВИХ МАШИНАХ

Мета заняття: ознайомлення з термодинамічними процесами в теплових машинах, вивчення різних термодинамічних циклів та їх впливу на ефективність роботи теплових установок. Оцінка впливу параметрів робочого тіла на термодинамічні процеси та виявлення можливостей для оптимізації роботи теплових машин.

Теоретичні положення. Теплові машини працюють за принципом перетворення теплової енергії в механічну роботу за допомогою термодинамічних процесів. Основними етапами такого перетворення є стиснення і розширення робочого тіла, що дозволяє здійснювати енергетичні трансформації. Найпоширенішими є термодинамічні цикли Карно, Ренкіна, Отто і Дізеля, кожен з яких має свої особливості і застосування в різних типах теплових установок.

Цикл Карно є ідеальним, він визначає максимальну можливу ефективність теплових машин. Однак у реальних умовах використовуються цикли Ренкіна, Отто та Дізеля, які відрізняються за принципом роботи і мають різну ефективність, що залежить від температурних і тискових умов, а також від властивостей робочого тіла. Вивчення цих циклів дає можливість оцінити можливості для підвищення ефективності теплових машин через зміни в параметрах робочого процесу, таких як температура і тиск.

Основна частина. Необхідно ознайомитись з основними термодинамічними циклами та їх параметрами. Почніть з вивчення процесів, що відбуваються в кожному циклі, і з'ясуйте, як змінюються температура, тиск і об'єм робочого тіла під час стиснення і розширення. Зверніть увагу на ефективність кожного циклу, порівняйте реальні та ідеальні процеси, щоб зрозуміти, чому реальні машини мають меншу ефективність.

Практично досліджуйте різницю між ідеальним циклом Карно та реальними циклами. Проведіть розрахунки для визначення коефіцієнта корисної дії в різних термодинамічних циклах, враховуючи різні температури та тиски на різних

етапах процесу. Також зверніть увагу на матеріали, що використовуються в різних теплових машинах, і на те, як їх властивості можуть впливати на ефективність роботи.

Розгляньте варіанти оптимізації термодинамічних процесів. Це може містити підвищення температури робочого тіла, зменшення теплових втрат, а також використання більш ефективних матеріалів і технологій.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 1

Теоретичні питання

1. Які основні термодинамічні цикли використовуються в теплових машинах і як вони відрізняються за параметрами?
2. Як змінюються термодинамічні властивості робочого тіла під час стиснення та розширення в кожному з циклів?
3. Що є основною причиною меншої ефективності реальних термодинамічних циклів порівняно з ідеальним циклом Карно?
4. Яким чином можна розрахувати коефіцієнт корисної дії для теплових машин і як на нього впливають різні температури та тиски?
5. Як вибір робочого тіла (пар, газ, рідина) впливає на термодинамічні процеси в теплових машинах?
6. Які методи оптимізації термодинамічних процесів дозволяють підвищити ефективність теплових машин?
7. Які фактори обмежують ефективність теплових машин в реальних умовах?

2 ВИВЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ЦИКЛІВ

Мета заняття: ознайомлення з основними термодинамічними циклами, їх характеристиками та принципами роботи. Вивчення впливу різних параметрів (температури, тиску, об'єму) на ефективність термодинамічних процесів. Аналіз

основних циклів, таких як цикл Карно, цикл Ренкіна, цикл Отто та цикл Дізеля, їх застосування в реальних теплових машинах.

Теоретичні положення. Термодинамічні цикли є основою для роботи більшості теплових машин, оскільки вони визначають, як енергія тепла перетворюється на механічну роботу. Розрізняють різні типи термодинамічних циклів, кожен з яких має свої особливості та застосування в конкретних умовах.

Цикл Карно – це ідеальний термодинамічний цикл, що складається з двох ізотермічних і двох адіабатичних процесів. Цей цикл є теоретичним, і його основна мета – визначити максимальну можливу ефективність теплових машин. Однак за реальних умов цей цикл неможливо повністю реалізувати через тертя, теплові втрати і неповну площу теплообміну.

Цикл Ренкіна використовується в парових турбінах та теплових електростанціях. Це цикл, що передбачає перехід робочого тіла (пари, води) між двома фазами — рідиною та парою. Цей цикл є більш реальним, але має меншу ефективність через теплові втрати та інші фактори.

Цикл Отто використовується в бензинових двигунах. Це цикл з ізохорним стисненням і ізобарами. Він має високу ефективність із обмеженим використанням палива.

Цикл Дізеля є схожим на цикл Отто, але з високим ступенем стиснення. Цей цикл дозволяє отримувати більше енергії з того ж обсягу пального, але також має свої недоліки через високі температури в камері згоряння.

Основна частина. Вивчення основних термодинамічних циклів та їх параметрів є ключовим для розуміння принципів роботи теплових машин. Спочатку слід розглянути цикл Карно як ідеальний варіант і проаналізувати, чому його неможливо реалізувати в реальних умовах. Цей цикл дає уявлення про максимальну теоретичну ефективність, яку можна досягти в теплових машинах.

Наступним кроком є цикл Ренкіна, він є практичним прикладом використання в теплових електростанціях і парових турбінах. Процеси, що відбуваються з робочим тілом, є важливими для розуміння його впливу на загальну ефективність системи.

Цикл Отто і його використання в бензинових двигунах є ще одним важливим етапом вивчення. Порівняння його ефективності з іншими циклами дає уявлення про переваги та обмеження цього типу теплових машин.

Цикл Дізеля має свої особливості через високий ступінь стиснення. Вивчення цих характеристик дає можливість зрозуміти, як це впливає на потужність двигунів та загальну ефективність роботи.

Важливо порівняти ефективність цих циклів і знайти можливості для їх оптимізації, що дозволить підвищити загальну ефективність теплових машин.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 2

Теоретичні питання

1. Що таке цикл Карно і чому він є ідеальним для оцінки ефективності теплових машин?
2. Як працює цикл Ренкіна, і в яких типах установок він використовується?
3. Які переваги і недоліки має цикл Отто порівняно з іншими термодинамічними циклами?
4. Які особливості циклу Дізеля, і чому цей цикл дозволяє отримати більшу потужність із високим ступенем стиснення?
5. Як впливає вибір робочого тіла на ефективність термодинамічних циклів?

3 ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РОБОЧИХ ТІЛ

Мета заняття: ознайомлення з термодинамічними властивостями робочих тіл, їх впливом на ефективність теплових процесів і машин. Вивчення параметрів, таких як температура, тиск, об'єм, ентальпія і ентропія, та їхньої ролі у термодинамічних циклах. Аналіз властивостей різних робочих тіл і їх застосування в різних типах теплових установок.

Теоретичні положення. Термодинамічні властивості робочих тіл є важливими для розуміння принципів роботи теплових машин. Вони визначають, як змінюються параметри, такі як температура, тиск і об'єм, в різних термодинамічних процесах.

Температура є основним параметром, що визначає рівень енергії в робочому тілі. Зміна температури в процесах стиснення або розширення впливає на енергію, яку може передати робоче тіло. Підвищення температури зазвичай підвищує енергію і можливість виконання роботи.

Тиск – це сила, яка діє на одиничну площу поверхні. В термодинаміці тиск є важливим параметром для розрахунку робочих циклів, оскільки зміни тиску визначають зміну об'єму та енергії в системі.

Об'єм є ще одним важливим параметром, що визначає розмір робочого тіла в процесах розширення чи стиснення. Під час змін об'єму змінюються як температура, так і тиск, що безпосередньо впливає на енергію системи.

Ентальпія є важливою термодинамічною характеристикою, що виражає суму внутрішньої енергії та роботи, яка здійснюється для підтримання тиску в системі. Зміни ентальпії допомагають оцінити енергетичні витрати в різних процесах.

Ентропія визначає ступінь безладдя або хаосу в системі. Зміни ентропії вказують на незворотність процесів. В термодинамічних циклах, таких як цикл Карно або Ренкіна, зміни ентропії допомагають зрозуміти ефективність процесу.

Різні робочі тіла мають свої специфічні властивості. Наприклад, вода використовується в парових циклах через її здатність змінювати фазу за відносно низьких температур, що дозволяє створювати велику кількість енергії. Газоподібні робочі тіла, такі як повітря або аміак, застосовуються в холодильних установках завдяки своїй здатності до значних змін об'єму за невеликих коливань температури.

Основна частина. Під час практичного заняття важливо ознайомитись із різними типами робочих тіл і їх термодинамічними властивостями. Розпочати варто з води, яка є класичним робочим тілом для парових циклів. Оцінити, як

зміни температури та тиску впливають на зміну фазового стану води (рідина – пара) та на кількість енергії, що може бути отримана у разі конденсації пари.

Порівняти властивості газів, зокрема повітря, яке широко використовується в холодильних установках. Зміни температури та об'єму в таких циклах допомагають вивести з системи необхідну кількість тепла. Особливу увагу слід звернути на властивості газу під час стискання та розширення, що впливає на ефективність циклу.

Дослідження властивостей аміаку в холодильних установках дає можливість зрозуміти його роль у термодинамічних процесах. Аміак є ефективним робочим тілом через високий коефіцієнт стиснення та здатність змінювати свій об'єм за незначних змін температури. Це дозволяє йому ефективно використовуватися в системах кондиціонування та охолодження.

Важливо також вивчити, як змінюються властивості робочих тіл за різних умов. Наприклад, гази мають різні характеристики залежно від того, чи працюють в адіабатичних, ізотермічних чи ізобаричних процесах

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 3

Теоретичні питання

1. Як температура впливає на термодинамічні властивості робочих тіл і їх енергетичний потенціал?
2. Яка роль тиску в термодинамічних процесах і як він змінюється в різних циклах?
3. Які особливості води як робочого тіла в парових установках, і чому вона використовується для створення енергії?
4. Які властивості аміаку роблять його ефективним робочим тілом у холодильних циклах?
5. Як ентальпія і ентропія допомагають оцінити ефективність термодинамічних процесів?

4 РІВНЯННЯ СТАНУ І ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ТЕРМОДИНАМІЦІ

Мета заняття: вивчення рівнянь стану та їх застосування в термодинамічних процесах. Ознайомлення з основними рівняннями, такими як рівняння ідеального газу, рівняння Ван-дер-Ваальса та іншими, їх використання для визначення параметрів системи (тиску, об'єму, температури) і розрахунку ефективності теплових процесів. Аналіз застосування рівнянь стану в реальних системах і їх обмеження.

Теоретичні положення. Рівняння стану є математичними моделями, що описують зв'язок між параметрами термодинамічної системи, такими як тиск, об'єм та температура. Вони дозволяють визначати стан робочого тіла в різних умовах та розраховувати енергетичні характеристики процесів.

Крім того, рівняння стану застосовуються для рідин та твердих тіл, проте для них існують більш складні рівняння, що враховують вплив температури, тиску та інших факторів на фазові переходи та властивості матеріалів.

У термодинаміці важливо правильно вибирати рівняння стану для конкретного процесу, оскільки від цього залежить точність розрахунків і оцінка ефективності системи. Наприклад, для парових установок з водою використовуються рівняння стану, які враховують зміни фаз і температури залежно від тиску.

Основна частина. На практичному занятті важливо детально розглянути застосування рівнянь стану для різних робочих тіл і умов. Почати можна з ідеального газу, розглядаючи його застосування в стандартних умовах. Потрібно провести розрахунки для газу, використовуючи рівняння ідеального газу для визначення змін тиску, об'єму та температури зі зміною одного з параметрів, водночас важливо звернути увагу на припущення, що газ є ідеальним.

Далі потрібно перейти до розгляду рівняння Ван-дер-Ваальса, яке коригує ідеальну модель і використовується для газів, що знаходяться під високим тиском або за низьких температур. Для цього необхідно провести аналіз роботи

газу в таких умовах, порівнявши результати, отримані з використанням рівняння ідеального газу та рівняння Ван-дер-Ваальса.

Особливу увагу варто приділити практичним прикладам, таким як обчислення параметрів пари в парових турбінах або роботи газу в холодильних установках. Важливою задачею є розуміння, як рівняння стану допомагають точніше моделювати роботу цих систем, оскільки більш точні розрахунки ведуть до підвищення ефективності машин і зменшення енергетичних витрат.

Також варто розглянути рівняння стану для рідин у різних термодинамічних процесах, наприклад, в процесах зміни температури та тиску в теплообмінниках, де точність визначення властивостей робочого тіла є критично важливо.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 4

Теоретичні питання

1. Які основні відмінності між рівнянням стану ідеального газу та рівнянням Ван-дер-Ваальса?
2. Як змінюється точність розрахунків термодинамічних процесів із використанням рівняння ідеального газу та рівняння Ван-дер-Ваальса для реальних газів?
3. В яких випадках застосування рівняння Ван-дер-Ваальса дає значно точніші результати, ніж рівняння ідеального газу?
4. Які особливості використання рівняння стану для водяної пари в парових установках?
5. Як рівняння стану впливають на розрахунки енергетичних параметрів в холодильних та теплових системах?

5 ТЕРМОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ В РІЗНИХ ТИПАХ КОТЛІВ

Мета заняття: дослідження термодинамічних процесів, що відбуваються в різних типах котлів. Ознайомлення з принципами роботи котлів, їх конструкціями та особливостями термодинамічних процесів. Аналіз впливу

різних параметрів, таких як температура, тиск та об'єм, на ефективність роботи котлів у теплогенерації та теплообміні. Вивчення принципів роботи парових, водонагрівальних та комбінованих котлів.

Теоретичні положення. Котли є основними елементами теплоенергетичних систем, де відбувається перетворення хімічної енергії палива на теплоту. Термодинамічні процеси в котлах є важливими для розуміння того, як забезпечується ефективне використання тепла і як керувати різними параметрами системи для досягнення максимальної продуктивності.

До основних термодинамічних процесів в котлах належать теплообмін, фазові переходи та вплив зовнішніх факторів, таких як тиск і температура. Для водонагрівальних котлів характерний процес нагрівання води до заданої температури, а для парових котлів – перехід води з рідкого стану в пар за певного тиску та температури.

У парових котлах тепло, що виділяється під час спалювання палива, передається воді, що перетворюється на пару. Зміна стану води є ключовим етапом у виробництві пари, яку можна використати для обертання турбін або в технологічних процесах. Зміна фазового стану води від рідини до пари супроводжується значними змінами внутрішньої енергії, що важливо для розрахунку ефективності котла.

У водонагрівальних котлах вода нагрівається до високих температур, але залишається в рідкому стані. Водогрійні котли використовуються для обігріву будівель, у системах гарячого водопостачання та інших теплових процесах. Термодинамічні характеристики, такі як температура і тиск води, визначають ефективність процесу передачі тепла від палаючого палива до води.

Комбіновані котли, які можуть працювати як водогрійні або парові залежно від режиму, використовують властивості обох процесів. Вони можуть працювати на різних типах палива і мають гнучкість в термодинамічних процесах, що дозволяє використовувати їх в різних енергетичних та промислових установках.

Основна частина. На практичному занятті важливо розглянути конкретні приклади котлів та термодинамічні процеси, що в них відбуваються. Насамперед

варто дослідити паровий котел. Оцінка ефективності парового котла починається з аналізу процесу спалювання палива, де утворюється тепло. Тепло передається воді, яка нагрівається до температури насиченої пари, після чого вода переходить у пар. Оцінка теплових втрат на різних етапах процесу допоможе визначити, як оптимізувати роботу котла і підвищити його ККД.

Далі треба проаналізувати водогрійний котел. Задача — оцінити ефективність нагрівання води до заданої температури і з'ясувати, як різні параметри (температура вхідної води, потужність котла, теплоізоляція) впливають на енергоефективність. Важливо також вивчити, як зміна температури впливає на теплоту, що передається воді, і як зменшити втрати тепла.

Комбіновані котли мають особливості, які дозволяють перемикатися між режимами парового і водогрійного котла. Оцінка ефективності в таких котлах за допомогою термодинамічних параметрів дозволяє визначити, як оптимально налаштувати роботу котла для різних умов експлуатації та типів палива.

Необхідно також вивчити вплив таких факторів, як температура та тиск води в котлах, на їх ефективність. Аналіз термодинамічних властивостей робочих тіл допоможе зрозуміти, як найкраще вибрати параметри котла для різних виробничих та побутових потреб.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 5

Теоретичні питання

1. Які основні термодинамічні процеси відбуваються в парових котлах і як вони впливають на ефективність роботи котла?
2. Як зміна температури та тиску в котлі впливає на теплоту, що передається системі?
3. В чому різниця між паровими і водонагрівальними котлами з точки зору термодинамічних процесів?

4. Як використання комбінованих котлів дозволяє оптимізувати термодинамічні процеси залежно від потреб виробництва?

5. Які фактори визначають ефективність теплообміну в котлах, і як можна зменшити теплові втрати?

6 ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Мета заняття: оцінка ефективності термодинамічних процесів у різних енергетичних системах. Розуміння впливу різних параметрів, таких як температура, тиск та теплообмін, на загальну ефективність систем. Ознайомлення з основними показниками ефективності термодинамічних процесів, такими як ККД, коефіцієнт використання тепла та енергетичні втрати. Вивчення методів підвищення ефективності термодинамічних процесів в промислових та енергетичних системах.

Теоретичні положення. Ефективність термодинамічного процесу визначається здатністю системи перетворювати енергію з одного виду на інший з мінімальними втратами. Оскільки термодинаміка вивчає перетворення енергії, однією з основних цілей є максимізація цього перетворення з мінімальними втратами.

Також важливим показником є коефіцієнт використання тепла (КВТ), який дозволяє визначити, скільки тепла фактично використовуються в процесі порівняно з тим, скільки тепла можна було б отримати за ідеальних умов. Для різних типів котлів, турбін та інших енергетичних систем, КВТ може відрізнятися залежно від налаштувань і параметрів процесу.

Одним з основних методів підвищення ефективності є зниження теплових втрат, що досягається через вдосконалення теплообмінників, покращення теплоізоляції, перерозподіл енергії в системі, а також використання відновлювальних технологій, які дозволяють зберігати та повторно використовувати енергію, що звільняється під час процесу.

Основна частина. Практичне заняття має на меті глибше розглянути, як оцінюється ефективність різних термодинамічних процесів в енергетичних

системах, таких як теплові двигуни, котли, холодильні системи та інші промислові установки. Для цього необхідно застосувати теоретичні положення щодо ККД та коефіцієнта використання тепла для практичних прикладів.

Розгляд парових турбін дозволяє проаналізувати, як різні етапи термодинамічного процесу (наприклад нагрівання пари, її конденсація, стиснення та розширення) впливають на загальний ККД системи. Важливо відзначити, що на кожному з етапів можуть виникати значні втрати енергії, і саме вони визначають кінцеву ефективність турбін.

Аналіз котлів дозволяє оцінити, як зміна температури палива та води впливає на ефективність процесу теплообміну. Важливо враховувати, що навіть маленькі втрати тепла на кожному етапі можуть мати великий вплив на загальну ефективність роботи котла.

Для холодильних систем, які використовують термодинамічний процес стиснення та розширення газу, оцінка ефективності є важливим етапом. Тут також важливу роль відіграють втрати тепла, які виникають у разі конденсації та випаровування робочої речовини.

Важливим етапом є також використання відновлювальних технологій, що дозволяє значно підвищити ефективність процесів. Прикладом може бути використання тепла від викидних газів для попереднього нагріву пального або води в системах, що працюють на паливах.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 6

Теоретичні питання

1. Як змінюється ефективність термодинамічних процесів залежно від параметрів, таких як температура та тиск?
2. Які фактори можуть впливати на зниження ККД в теплових машинах, і як можна зменшити ці втрати?
3. Як впливає теплообмін на загальну ефективність котлів та інших теплообмінних систем?

4. Які методи підвищення ефективності термодинамічних процесів в енергетичних установках можна використовувати на практиці?

5. Як аналіз коефіцієнта використання тепла дозволяє оцінити ефективність промислових процесів?

7 ОЦІНКА ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ В ТРУБОПРОВОДАХ

Мета заняття: дослідження теплопередачі в трубопроводах. Ознайомлення з основними принципами теплообміну в трубопровідних системах. Оцінка впливу різних факторів, таких як температура, матеріал труб, швидкість потоку та теплоізоляція, на ефективність теплопередачі. Аналіз методів підвищення ефективності теплообміну та зниження теплових втрат в трубопроводах, а також дослідження основних технічних засобів для оптимізації цього процесу.

Теоретичні положення. Теплопередача в трубопроводах є важливою складовою для забезпечення ефективної роботи теплоенергетичних систем. Трубопроводи використовуються для транспортування рідин або газів, що мають різну температуру, і в процесі цього транспортування відбувається передача тепла між середовищем і рідиною або газом. Теплопередача в трубопроводах здійснюється шляхом теплопровідності, конвекції та випромінювання.

Основними параметрами, що впливають на теплопередачу в трубопроводах, є температура рідини чи газу, температура навколишнього середовища, матеріал труб, товщина стінок труб, швидкість потоку рідини та теплоізоляція. Важливою характеристикою трубопроводу є коефіцієнт теплопередачі, який визначає кількість тепла, що передається через одиницю площі за одиницю часу за певної температурної різниці.

Коефіцієнт теплопередачі залежить від кількох факторів. Насамперед від властивостей матеріалу труб, що визначають його теплопровідність. Також важливу роль відіграє швидкість потоку рідини або газу, оскільки з її збільшенням зростає ефективність конвекційної теплопередачі.

Для трубопроводів, що транспортують гарячі рідини або пари, важливою є проблема теплових втрат у навколишнє середовище, що може суттєво

зменшувати ефективність системи. Для цього застосовують теплоізоляцію, яка зменшує втрати тепла, а також використовують матеріали з високою теплопровідністю для труб, щоб підвищити ефективність теплообміну.

Основна частина. Під час практичного заняття необхідно вивчити, як різні параметри впливають на теплопередачу в трубопроводах і як оцінюється ефективність цього процесу. Насамперед потрібно проаналізувати, як температура рідини в трубопроводі та температура навколишнього середовища визначають втрати тепла.

Оцінка ефективності теплообміну між рідиною і стінками трубопроводів передбачає вивчення коефіцієнта теплопередачі для конкретного матеріалу труб. Для цього можна використовувати різні формули і методи для обчислення цього коефіцієнта на основі таких факторів, як швидкість потоку, різниця температур та теплопровідність матеріалу труб.

Далі важливо оцінити, як теплоізоляція трубопроводів впливає на зменшення теплових втрат. Теплоізоляція допомагає утримувати тепло в системі та запобігає його викидам у навколишнє середовище. Порівняння ефективності різних типів теплоізоляційних матеріалів дає можливість вибрати оптимальний варіант для конкретних умов експлуатації трубопроводу.

Особливу увагу потрібно приділити аналізу ефективності теплопередачі в трубопроводах, які транспортують гарячі рідини, пари або гази, що мають різну температуру. Вивчення параметрів потоку рідини, таких як швидкість та температура, дозволяє зрозуміти, як ці фактори впливають на інтенсивність теплопередачі.

Нарешті необхідно дослідити різні методи підвищення ефективності теплопередачі в трубопроводах. До цього належить оптимізація швидкості потоку, застосування різних матеріалів для труб та теплоізоляційних покриттів, а також розгляд технологій, що дозволяють зменшити втрати тепла.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 7

Теоретичні питання

1. Як температура рідини в трубопроводі впливає на ефективність теплопередачі в системі?
2. Які фактори визначають коефіцієнт теплопередачі в трубопроводах і як вони взаємодіють між собою?
3. Як теплоізоляція трубопроводів зменшує теплові втрати і підвищує ефективність системи?
4. Які матеріали використовуються для трубопроводів з метою покращення теплопередачі?
5. Як змінюється теплопередача в трубопроводах із різними швидкостями потоку рідини або газу?

8 ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В УМОВАХ РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ

Мета заняття: вивчення процесів теплопередачі в умовах різних температурних режимів. Розгляд впливу температурних відмінностей між середовищем та робочим тілом на ефективність теплопередачі. Оцінка змін у швидкості теплопередачі зі зміною температури та характеристик матеріалу. Ознайомлення з методами підвищення ефективності теплообміну в різних температурних режимах, а також аналіз можливих втрат тепла за різних значень температури.

Теоретичні положення. Теплопередача є процесом передачі енергії у вигляді тепла від одного тіла до іншого в результаті різниці температур. Основними механізмами теплопередачі є теплопровідність, конвекція та випромінювання. В умовах різних температурних режимів ці механізми можуть проявлятися із різною інтенсивністю залежно від фізичних властивостей середовища і об'єкта, через який передається тепло.

У загальному випадку процес теплопередачі в трубопроводах або між тілами можна описати за допомогою закону теплопровідності Фур'є, що описує передачу тепла в твердих тілах. Для потоків рідин або газів важливим є також коефіцієнт теплопередачі для конвекції. Різниця температур між середовищем і робочим тілом визначає напрямок та інтенсивність теплопередачі. Чим більша різниця температур, тим швидше відбувається передача тепла.

В умовах високих температур, коли температура робочого тіла значно перевищує температуру навколишнього середовища, теплопередача відбувається переважно за рахунок теплопровідності. Проте за низьких температур важливим механізмом є конвекція, коли тепло передається через потік рідини або газу, що рухається по трубопроводах.

Зміна температури робочого тіла також може впливати на властивості матеріалу, з якого виготовлені трубопроводи або інші елементи теплообміну. Наприклад, з підвищенням температури матеріал може втрачати свої теплоізоляційні властивості або ж змінювати теплопровідність, що може призвести до втрат тепла.

Основна частина. Під час практичного заняття необхідно провести аналіз теплопередачі в трубопроводах за умов різних температурних режимів. Спочатку потрібно визначити, як зміна температури впливає на швидкість передачі тепла через матеріали труб. Оцінка ефективності теплообміну залежить від кількості тепла, яке передається через одиницю площі за одиницю часу, із різницею температур між середовищем і робочим тілом.

Далі важливо вивчити, як різні температурні режими змінюють коефіцієнт теплопередачі для конвекції. Коли температура робочої рідини або газу в трубопроводі збільшується, це може призвести до зменшення швидкості теплопередачі за рахунок зміни властивостей рідини, наприклад, її в'язкості. Для високих температур важливо враховувати можливість перегріву та втрат тепла, що виникають через низьку теплопровідність матеріалів.

Особливу увагу слід звернути на те, як впливає теплоізоляція на зниження теплових втрат за різних температурних режимів. Теплоізоляція важлива для

збереження тепла в системах, де температура робочої рідини або газу значно перевищує температуру навколишнього середовища. Порівняння ефективності теплоізоляційних матеріалів за різних температур дасть змогу зрозуміти, як змінюється їх вплив на теплопередачу в системі.

Необхідно також дослідити методи зменшення теплових втрат, такі як використання спеціальних теплообмінників або підвищення швидкості потоку рідини, що може позитивно впливати на ефективність теплопередачі в умовах високих температур.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 8

Теоретичні питання

1. Як змінюється ефективність теплопередачі за різних температурних режимів у системах теплообміну?
2. Який вплив має температура робочого тіла на теплоізоляційні властивості матеріалів труб?
3. Як температура рідини або газу в трубопроводі впливає на швидкість теплопередачі та коефіцієнт конвекції?
4. Які методи зменшення теплових втрат використовуються в умовах високих температур?
5. Як змінюється теплопередача залежно від різниці температур між середовищем та робочим тілом?

9 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ДЛЯ РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета заняття: дослідження коефіцієнтів теплопередачі для різних матеріалів. Ознайомлення з методами визначення цього параметра та вивчення впливу матеріалів на ефективність теплообміну. Розгляд різних факторів, що впливають на теплопередачу, таких як температура, вологість, структура матеріалу та його теплопровідність. Аналіз застосування отриманих значень

коефіцієнтів теплопередачі в інженерних розрахунках для проектування теплообмінних систем.

Теоретичні положення. Коефіцієнт теплопередачі (k) є важливим параметром, що характеризує здатність матеріалу проводити тепло. Цей коефіцієнт залежить від типу матеріалу, його температури, структури та умов теплообміну. Існують різні типи теплопередачі: теплопровідність, конвекція та випромінювання, і для кожного з них коефіцієнти теплопередачі мають свої особливості.

Теплопровідність є основним механізмом теплопередачі для твердих тіл. Коефіцієнт теплопровідності визначається за допомогою закону Фур'є, що описує передачу тепла через матеріал за наявності температурного градієнта. Для рідин і газів важливу роль відіграє коефіцієнт теплопередачі під час конвекції, що описує ефективність передачі тепла через потік рідини або газу.

Значення коефіцієнта теплопередачі для різних матеріалів може варіюватися залежно від їх фізичних властивостей, таких як теплопровідність, щільність, в'язкість та температура. Для твердих матеріалів (наприклад, металів, бетону, скла) коефіцієнт теплопровідності зазвичай вищий, ніж для шпаруватих матеріалів (наприклад, дерева чи утеплювачів).

У проектуванні теплообмінних систем часто використовуються середні значення коефіцієнтів теплопередачі для матеріалів. Вони залежать не тільки від типу матеріалу, але й від умов, у яких здійснюється теплопередача. Наприклад, в умовах високих температур або підвищеної вологості коефіцієнт теплопередачі може змінюватися, і це необхідно враховувати під час розрахунків.

Основна частина. Для визначення коефіцієнтів теплопередачі для різних матеріалів спочатку потрібно провести експерименти або використовувати стандартизовані таблиці з характеристиками теплопередачі матеріалів. Це дозволить оцінити ефективність теплопередачі через конкретний матеріал за заданих умов температури та вологості.

Протягом практичного заняття необхідно визначити коефіцієнти теплопередачі для кількох матеріалів, що використовуються в будівництві та

теплоенергетиці (наприклад, сталь, бетон, скло, утеплювачі). Для цього можна використовувати таблиці термічних властивостей матеріалів або провести експериментальні вимірювання на зразках матеріалів, застосовуючи методи теплопередачі за допомогою теплових камер або спеціалізованих пристроїв.

Під час дослідження важливо враховувати не тільки тип матеріалу, але й умови навколишнього середовища, які можуть впливати на теплопередачу. Зміна температури навколишнього середовища, вологість, а також механічне навантаження на матеріал можуть змінювати коефіцієнт теплопередачі.

Після визначення коефіцієнтів теплопередачі для різних матеріалів, необхідно порівняти їх і зробити висновки щодо того, які матеріали найбільш ефективно проводять тепло в різних умовах. Розрахунок коефіцієнтів теплопередачі дозволяє оптимізувати конструкції теплообмінників і зменшити теплові втрати в енергетичних та будівельних системах.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 9

Теоретичні питання

1. Як коефіцієнт теплопередачі залежить від матеріалу та його фізичних властивостей?
2. Які фактори впливають на зміну коефіцієнта теплопередачі за різних температурних режимів?
3. Як змінюється теплопередача для твердих і шпаруватих матеріалів?
4. Які методи визначення коефіцієнтів теплопередачі для матеріалів є найбільш ефективними?
5. Як впливає вологість середовища на коефіцієнт теплопередачі матеріалу?

10 РОЛЬ КОНВЕКЦІЇ ТА РАДІАЦІЇ У ПРОЦЕСАХ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ

Мета заняття: дослідження ролі конвекції та радіації у процесах теплопередачі. Визначення основних механізмів передачі тепла за допомогою

цих процесів, їх впливу на загальну ефективність теплообміну та умов, за яких вони відіграють провідну роль. Ознайомлення з факторами, що впливають на інтенсивність конвекції та випромінювання, а також їх застосування в різних інженерних та технологічних системах.

Теоретичні положення. Теплопередача є складним фізичним явищем, що відбувається за участю різних механізмів, зокрема теплопровідності, конвекції та випромінювання. Конвекція та радіація відіграють важливу роль у багатьох інженерних процесах, особливо за умов, де теплопровідність матеріалу не є провідним механізмом.

Конвекція – це процес перенесення тепла за допомогою руху рідини або газу. Вона може бути природною, коли рух відбувається під впливом різниці густини середовища через температурні зміни, або вимушеною, коли потік створюється механічними засобами, такими як вентилятори, помпи або компресори. Інтенсивність конвекційного теплообміну залежить від швидкості потоку, властивостей середовища, температурного градієнта та геометрії поверхні, що контактує з теплоносієм.

Радіація (теплове випромінювання) є процесом передачі тепла у вигляді електромагнітних хвиль без участі проміжного середовища. Це означає, що теплове випромінювання може відбуватися навіть у вакуумі, що є важливим для космічних та високотемпературних технологій. Інтенсивність випромінювання визначається температурою поверхні, її випромінювальною здатністю та спектральними характеристиками. Згідно із законами теплового випромінювання, ефективність радіаційного теплообміну зростає зі збільшенням температури об'єкта.

Залежно від умов експлуатації, конвекція та радіація можуть взаємодіяти між собою, утворюючи комбіновані механізми теплообміну. Наприклад, у системах охолодження високотемпературного обладнання або в системах опалення значну роль відіграють обидва процеси, і їх врахування дозволяє підвищити ефективність теплопередачі.

Основна частина. Дослідження механізмів конвекції та радіації передбачає розгляд практичних аспектів їх використання в інженерних системах. У різних галузях промисловості процеси конвекційної та радіаційної теплопередачі застосовуються у вентиляційних системах, теплових електростанціях, системах кондиціонування повітря, а також у теплоізоляційних матеріалах та конструкціях.

Для оцінки ефективності конвекційного теплообміну можна розглянути системи охолодження електронного обладнання, де застосовується як природна, так і примусова конвекція. У випадках, коли охолодження здійснюється повітряними потоками або рідинними теплоносіями, конвекція стає основним процесом у теплообміні. Наприклад, в системах охолодження двигунів внутрішнього згоряння тепло передається від стінок двигуна до охолоджувальної рідини через конвективні процеси.

Щодо радіаційного теплообміну, одним із практичних прикладів є теплопередача в промислових печах, де нагріті тіла передають енергію у вигляді випромінювання на навколишні поверхні. Крім того, теплове випромінювання використовується в системах опалення приміщень, наприклад, у інфрачервоних обігрівачах, що створюють ефективне нагрівання без безпосереднього контакту з теплоносієм.

Поєднання конвекції та радіації можна спостерігати в будівельних конструкціях. Наприклад, у віконних системах використовується спеціальне покриття, що мінімізує радіаційні тепловтрати, а також застосовується конвекційний бар'єр для зниження руху повітря всередині склопакета.

Розуміння механізмів конвекції та радіації дозволяє оптимізувати роботу теплообмінних систем, підвищити їх ефективність та зменшити енергетичні втрати. В інженерній практиці часто використовуються комбінації цих процесів для досягнення оптимального рівня теплопередачі залежно від конкретних умов експлуатації.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 10

Теоретичні питання

1. Які основні відмінності між природною та вимушеною конвекцією?
2. Як змінюється інтенсивність теплопередачі зі зміною температурного градієнта в процесі конвекції?
3. Які фактори впливають на ефективність радіаційного теплообміну?
4. У яких випадках теплове випромінювання відіграє провідну роль у процесах теплопередачі?
5. Як взаємодіють конвекційні та радіаційні процеси у теплоізоляційних матеріалах?
6. Яким чином можна підвищити ефективність теплопередачі у системах з комбінованими механізмами теплообміну?
7. Які сучасні технології використовуються для регулювання конвекційного та радіаційного теплообміну у промисловості?

11 ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ЧЕРЕЗ ПЛОСКІ ТА ЦИЛІНДРИЧНІ ПОВЕРХНІ

Мета заняття: дослідження процесів теплопередачі через плоскі та циліндричні поверхні. Визначення основних закономірностей теплообміну, що відбувається в таких конструкціях, впливу геометрії на ефективність теплопередачі та застосування відповідних методів теплоізоляції для мінімізації втрат теплової енергії.

Теоретичні положення. Процеси теплопередачі через плоскі та циліндричні поверхні є важливими у багатьох галузях промисловості, зокрема в будівництві, енергетиці, теплоенергетичних системах та вентиляції. Основними механізмами теплопередачі в таких конструкціях є теплопровідність, конвекція та випромінювання.

У випадку плоских стін теплопередача визначається температурним градієнтом між зовнішньою та внутрішньою поверхнями, а також теплопровідністю матеріалу. Чим нижчий коефіцієнт теплопровідності

матеріалу, тим ефективніше він утримує тепло або мінімізує його втрати. Під час проєктування будівельних конструкцій використовується багат шарова ізоляція, що дозволяє контролювати інтенсивність теплообміну.

Для циліндричних поверхонь, таких як трубопроводи, процеси теплопередачі мають особливості через зміну площі поверхні залежно від радіусу. У таких конструкціях тепло передається від внутрішньої стінки до зовнішньої через матеріал труби, водночас на ефективність теплообміну впливає товщина матеріалу та його теплопровідність.

Значний вплив на процес має конвекція, яка може бути природною або примусовою. Внутрішня конвекція в трубопроводах виникає під час руху теплоносія, тоді як зовнішня – під час контакту труби з навколишнім середовищем. У разі високих температур та значних перепадів між середовищем і стінками труби зростає роль випромінювання, яке сприяє додатковим тепловтратам.

Ефективність теплоізоляції труб та плоских стін залежить від вибору матеріалу, його товщини та властивостей поверхні. Застосування ізоляційних оболонок, багат шарових конструкцій та спеціальних покриттів дозволяє зменшити енергетичні витрати та підвищити ефективність роботи теплотехнічного обладнання.

Основна частина. Практичне дослідження процесів теплопередачі через плоскі та циліндричні поверхні передбачає аналіз матеріалів, що використовуються у будівельних конструкціях та теплопровідних системах, оцінку їхніх теплофізичних характеристик та впливу зовнішніх умов на ефективність теплообміну.

Під час теплопередачі через плоскі поверхні одним із ключових факторів є різниця температур між двома середовищами. Наприклад, у стінах будівель це різниця між температурою внутрішнього повітря та зовнішнього середовища. Для мінімізації втрат тепла застосовують утеплювачі з низькою теплопровідністю, такі як пінополіуретан, мінеральна вата або аерогелі.

У промислових умовах особливо важливо досліджувати теплопередачу через стінки печей, теплообмінників та інших технологічних установок. Товщина матеріалу та його структура впливають на рівень втрат тепла, а ефективне розміщення шарів ізоляції дозволяє підвищити загальну енергоефективність процесу.

Для циліндричних поверхонь, таких як трубопроводи, характерним є нерівномірний розподіл температури товщиною стінки. Внутрішня поверхня труби, що контактує з теплоносієм, може мати значно вищу температуру, ніж зовнішня поверхня, що контактує з повітрям. Це особливо помітно в паропроводах, де передача тепла відбувається за високих температур і тиску.

Важливим аспектом є теплоізоляція трубопроводів, яка застосовується для зниження тепловтрат. Використання спеціальних ізоляційних матеріалів з високим опором теплопередачі дозволяє зменшити витрати енергії на підтримку необхідного температурного режиму всередині трубопроводу. До сучасних методів термозахисту належать вакуумні оболонки, багат шарові композитні матеріали та спеціальні відбивні покриття.

Залежно від конкретних умов експлуатації, під час теплопередачі через плоскі та циліндричні поверхні можуть домінувати різні механізми теплообміну. В одних випадках основним фактором буде теплопровідність матеріалу, в інших – конвекція або випромінювання. Оптимізація цих процесів дозволяє підвищити ефективність роботи систем тепlopостачання, вентиляції та кондиціонування.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 11

Теоретичні питання

1. Які основні відмінності між теплопередачею через плоскі та циліндричні поверхні?
2. Як змінюється ефективність теплоізоляції залежно від геометрії об'єкта?
3. Які матеріали найбільш ефективні для теплоізоляції трубопроводів?

4. Як впливає радіус трубопроводу на швидкість теплопередачі?
5. Які фактори визначають інтенсивність конвекції на зовнішній поверхні труби?
6. Як можна зменшити випромінювальні тепловтрати через поверхню трубопроводу?
7. Яким чином багат шарова структура матеріалу впливає на загальну ефективність теплоізоляції?

12 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ МАСОПЕРЕНЕСЕННЯ В ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Мета заняття: дослідження процесів масоперенесення в вентиляційних системах, аналіз механізмів перенесення повітряних мас та домішок у повітропроводах, визначення факторів, що впливають на ефективність вентиляції, а також оцінка можливих шляхів покращення повітрообміну в приміщеннях.

Теоретичні положення. Масоперенесення у вентиляційних системах визначає процеси транспортування повітря, газових домішок, аерозолів та вологості у внутрішніх просторах будівель та промислових об'єктів. Основними механізмами масоперенесення є конвекція, дифузія та турбулентне перемішування.

Конвективне масоперенесення відбувається під дією примусових чи природних потоків повітря. У механічних вентиляційних системах переміщення повітря здійснюється за допомогою вентиляторів або нагнітачів, що створюють необхідний тиск у повітропроводах. Природна вентиляція базується на різниці густини повітря, яка виникає через температурні градієнти між внутрішнім і зовнішнім середовищем.

Дифузійне масоперенесення зумовлене молекулярним переміщенням газових компонентів у повітряному середовищі. Воно відіграє важливу роль у розподілі шкідливих речовин у повітрі приміщень, особливо за низької швидкості повітряних потоків. Дифузія також впливає на рівномірність

розповсюдження вологи, що може бути критично важливим у системах кондиціонування та осушення повітря.

Турбулентне масоперенесення відбувається із великими швидкостями повітряних потоків, що спричиняє інтенсивне перемішування та сприяє швидкому розсіюванню забруднень. У вентиляційних системах ефективно перемішування повітря допомагає запобігти утворенню застійних зон та локальних концентрацій шкідливих речовин.

До факторів, що впливають на масоперенесення у вентиляційних системах, належать швидкість та напрямок повітряного потоку, геометрія повітропроводів, наявність фільтраційних та рекупераційних систем, а також фізико-хімічні властивості забруднень. Оптимізація цих параметрів дозволяє підвищити ефективність вентиляції та забезпечити комфортні умови у приміщеннях.

Основна частина. Практичне вивчення процесів масоперенесення у вентиляційних системах передбачає аналіз особливостей транспортування повітря та забруднень у повітропроводах, оцінку впливу швидкості потоку та геометрії системи на ефективність очищення повітря, а також визначення оптимальних параметрів вентиляції для різних типів приміщень.

Одним із ключових аспектів є оцінка повітрообміну у приміщенні. У замкнених просторах якість повітря залежить від ефективності його оновлення та видалення надлишкових домішок. Вентиляційні системи повинні забезпечувати рівномірний розподіл повітряних потоків та мінімізувати застійні зони, де може накопичуватися волога або шкідливі речовини.

У випадку примусової вентиляції важливе значення має швидкість повітряного потоку у повітропроводах. Надто велика швидкість може спричинити підвищені втрати тиску та шум, тоді як надто мала швидкість призводить до недостатнього перемішування повітря та можливого осідання частинок у каналах.

Дифузійне масоперенесення найбільш помітне у зонах із малою швидкістю руху повітря, наприклад у приміщеннях із природною вентиляцією або у зонах

локального накопичення газів. Важливим є визначення коефіцієнтів дифузії для конкретних забруднювачів та оцінка їхнього розповсюдження у просторі.

Турбулентне перемішування відіграє критичну роль у великих приміщеннях та промислових цехах, де необхідно швидко усувати концентрації шкідливих речовин. Додавання турбулізаторів або зміна конструкції дифузорів може суттєво покращити розподіл повітря та рівномірність температурного поля.

Також важливим є контроль вологості у вентиляційних системах, оскільки надлишкова вологість сприяє утворенню конденсату, що може призводити до корозії металевих елементів повітропроводів та розвитку мікроорганізмів. Відповідно, у вентиляційних системах часто використовуються осушувачі повітря або системи регенерації тепла, які дозволяють підтримувати оптимальні умови у приміщеннях.

Для промислових об'єктів важливо враховувати вплив вентиляції на утилізацію шкідливих газів. Наприклад, у виробничих зонах, де можливе утворення летких органічних сполук, ефективне видалення парів забезпечує зменшення концентрації небезпечних речовин та покращення умов праці.

Залежно від специфіки приміщення, системи вентиляції можуть бути налаштовані на різні режими роботи, включно із змінними швидкостями повітряного потоку, зональним контролем та автоматичним регулюванням у відповідь на зміну параметрів внутрішнього середовища.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 12

Теоретичні питання

1. Які основні механізми масоперенесення відіграють ключову роль у вентиляційних системах?
2. Як змінюється ефективність вентиляції із різними швидкостями повітряного потоку?
3. Які фактори впливають на рівномірність розподілу повітря у приміщенні?

4. Як можна мінімізувати застійні зони у вентиляційних системах?
5. Чому важливий контроль вологості в системах вентиляції?
6. Як впливає геометрія повітропроводів на ефективність масоперенесення?
7. Які методи застосовуються для зменшення концентрації забруднень у повітрі промислових приміщень?

13 ВИВЧЕННЯ ДИФУЗІЇ В ГАЗАХ ТА РІДИНАХ

Мета заняття: дослідження процесів дифузії в газах та рідинах, визначення механізмів перенесення частинок у середовищі, оцінка впливу параметрів середовища на інтенсивність дифузії, а також практичний аналіз методів підвищення ефективності масоперенесення у технологічних системах.

Теоретичні положення. Дифузія – це процес перенесення частинок у середовищі, що виникає через нерівномірний розподіл концентрації речовини. Цей процес відбувається у всіх агрегатних станах речовин, але найбільш виражений у газах та рідинах. Основним рушійним чинником дифузії є градієнт концентрації, який змушує частинки переміщуватися від ділянок з вищою концентрацією до ділянок з нижчою, доки не буде досягнуто рівноважного стану.

У газах дифузія відбувається швидше, ніж у рідинах завдяки значно меншій густині та вищій швидкості хаотичного руху молекул. Рух частинок у газовому середовищі є вільним, а частота їх зіткнень залежить від температури, тиску та складу газової суміші. Зі збільшенням температури середовища швидкість дифузії зростає через збільшення кінетичної енергії молекул.

У рідинах дифузія відбувається повільніше через більш щільне розташування молекул та наявність сил міжмолекулярної взаємодії. На швидкість дифузії у рідинах впливають температура, в'язкість середовища та розмір дифундуючих частинок. Вища температура сприяє більш активному руху молекул, зменшуючи час досягнення рівноваги концентрації в об'ємі рідини.

Практичне застосування дифузійних процесів охоплює широке коло технічних та промислових сфер. У вентиляційних системах дифузія сприяє рівномірному розподілу газових домішок та шкідливих речовин у повітрі приміщень. В системах очищення та фільтрації повітря дифузійні механізми забезпечують ефективне видалення частинок та газоподібних домішок. У хімічній та фармацевтичній промисловості контрольовані процеси дифузії використовуються для отримання рівномірних сумішей та синтезу складних речовин.

Основна частина. Практичне дослідження дифузії в газах і рідинах передбачає аналіз швидкості розповсюдження речовини у різних середовищах, оцінку впливу параметрів середовища на ефективність масоперенесення, а також моделювання процесів для технологічних та інженерних застосувань.

На першому етапі дослідження розглядається процес дифузії газів у повітряному середовищі. Це можна проаналізувати на прикладі розповсюдження запахів або розчинних газів у приміщенні. Швидкість дифузії залежить від температури, густини повітря та наявності інших потоків, які можуть прискорювати або гальмувати перемішування газових компонентів.

Важливим аспектом є вплив турбулентних потоків, які значно прискорюють дифузійне масоперенесення. У вентиляційних системах турбулентність сприяє швидкому змішуванню повітря та усуненню зон з підвищеною концентрацією шкідливих речовин. Природна дифузія без примусової вентиляції є значно повільнішою і може призводити до локального накопичення шкідливих газів або нестачі кисню в замкнених приміщеннях.

Наступним етапом є аналіз дифузії у рідких середовищах. Для цього використовується процес розчинення фарбників або хімічних реагентів у воді. Спостерігається, як речовина поширюється у нерухомій воді та як змінюється швидкість розповсюдження за умови перемішування або зміни температури.

Одним із ключових параметрів дифузії в рідинах є коефіцієнт в'язкості, який визначає опір руху молекул. Високов'язкі рідини уповільнюють процес дифузії,

що має значення у технологіях змішування та транспортування речовин у промисловості.

У промислових та будівельних процесах дифузія відіграє критичну роль у розподілі газів у трубопроводах, перенесенні домішок у системах очищення води, а також у контролі вологості та паропроникності матеріалів.

Контроль дифузійних процесів можливий через зміну температури середовища, регулювання швидкості потоків та використання спеціальних мембран або каталізаторів, які можуть прискорювати або сповільнювати переміщення молекул.

В інженерних розрахунках важливо враховувати не лише загальні характеристики середовища, але й можливі вторинні ефекти, такі як сорбція речовин на поверхнях, утворення локальних застійних зон або вплив хімічних реакцій, які можуть змінювати склад газових і рідинних систем.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 13

Теоретичні питання

1. Які основні механізми впливають на дифузію в газах та рідинах?
2. Чому швидкість дифузії в газах є вищою, ніж у рідинах?
3. Як впливає температура на швидкість дифузійного процесу?
4. Які промислові та будівельні процеси залежать від ефективності дифузії?
5. Як турбулентність впливає на дифузійне масоперенесення у вентиляційних системах?
6. Які методи використовуються для регулювання дифузії у технологічних системах?
7. Чому високов'язкі рідини уповільнюють процес дифузії?

14 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ МАСОПЕРЕДАЧІ ДЛЯ РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩ

Мета заняття: дослідження методів визначення коефіцієнтів масопередачі в різних середовищах, аналіз факторів, що впливають на інтенсивність масоперенесення, та оцінка практичного значення цих показників у вентиляційних, технологічних та промислових системах.

Теоретичні положення. Масопередача є важливим процесом у багатьох природних та технічних системах, що містить перенесення маси речовини у газовому, рідкому або твердому середовищі. Основним параметром, що характеризує інтенсивність цього процесу, є коефіцієнт масопередачі, який визначає швидкість переміщення частинок через контрольовану зону.

У газових середовищах масоперенесення відбувається внаслідок дифузії та конвекції. Дифузійний механізм обумовлений градієнтом концентрації, що змушує частинки переміщуватися в зону з нижчою концентрацією. Конвективна складова залежить від потоку газу, який може прискорювати або змінювати напрямок масоперенесення.

У рідких середовищах масоперенесення залежить від в'язкості рідини, температури та інтенсивності перемішування. Висока в'язкість уповільнює процес, тоді як підвищення температури та активна циркуляція можуть прискорювати перенесення речовини.

У твердих середовищах масопередача може відбуватися за рахунок капілярних ефектів, адсорбції чи проникнення молекул через шпаруваті матеріали. Такий процес має велике значення у будівельних конструкціях, де масоперенесення впливає на довговічність матеріалів, рівень вологості та теплоізоляційні характеристики.

Практичне визначення коефіцієнтів масопередачі відбувається через експериментальні та розрахункові методи. Використовуються спеціальні сенсори для вимірювання концентрації речовин у середовищі, що дозволяє оцінити інтенсивність масоперенесення та вплив зовнішніх умов на його швидкість.

Основна частина. Для визначення коефіцієнтів масопередачі необхідно проаналізувати реальні умови, у яких відбувається масоперенесення, та оцінити вплив параметрів середовища.

У першому випадку розглядається масоперенесення у вентиляційних системах. Процес видалення домішок з повітряного середовища залежить від швидкості повітряного потоку, температури та концентраційної різниці між зонами. Аналізуючи зміни складу повітря у різних точках системи, можна оцінити коефіцієнт масопередачі та визначити оптимальні режими роботи вентиляції.

Другий випадок передбачає дослідження масоперенесення у рідких середовищах. Наприклад, процес розчинення газів у воді або дифузія солей у рідині можна оцінити за допомогою змін концентрації у контрольованій зоні. Швидкість перемішування, температура та властивості розчинника впливають на отримані результати, що дозволяє визначити ефективність процесу.

Окремим напрямком є масоперенесення у твердих середовищах, наприклад, проникнення вологи у будівельні матеріали. Дослідження такого процесу дозволяє визначити, наскільки швидко матеріал насичується рідиною, що має значення для оцінки його довговічності та термічного опору.

Експериментальні дослідження коефіцієнтів масопередачі можуть бути проведені у лабораторних умовах із використанням контрольованих змін концентрації та з аналізом швидкості масоперенесення у різних середовищах. Дані експериментів дозволяють розрахувати коефіцієнти масопередачі для конкретних матеріалів і середовищ та використовувати їх у проєктуванні технологічних процесів.

У промислових умовах коефіцієнти масопередачі мають вирішальне значення у процесах сушіння, очищення повітря, транспортування газів і рідин, а також у будівельних технологіях. Оптимізація цих процесів дозволяє підвищити енергоефективність та зменшити втрати ресурсів.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 14

Теоретичні питання

1. Які основні механізми масоперенесення існують у різних середовищах?
2. Як впливає температура на коефіцієнт масопередачі у рідких середовищах?
3. Чому у вентиляційних системах необхідно враховувати масоперенесення газових домішок?
4. Які методи використовуються для експериментального визначення коефіцієнтів масопередачі?
5. Як характеристики матеріалів впливають на швидкість масоперенесення у твердих середовищах?
6. Які параметри середовища необхідно контролювати для ефективного масоперенесення у промислових системах?
7. Як можна збільшити ефективність масоперенесення у технологічних процесах?

15 МАСОПЕРЕДАЧА В ПРОЦЕСАХ ВИПАРОВУВАННЯ ТА КОНДЕНСАЦІЇ

Мета заняття: дослідження механізмів масопередачі під час випаровування та конденсації, аналіз факторів, що впливають на ефективність цих процесів, а також визначення їхнього практичного значення у вентиляційних, енергетичних та технологічних системах.

Теоретичні положення. Процеси випаровування та конденсації відіграють важливу роль у багатьох природних та технічних явищах, зокрема в тепломасообмінних системах. Випаровування – це процес переходу рідини у газоподібний стан, який супроводжується масопередачею у навколишнє середовище. Конденсація, навпаки, є процесом переходу газу у рідкий стан, що супроводжується віддачею тепла та накопиченням маси у певній зоні.

Масоперенесення у випаровуванні відбувається завдяки дифузії молекул рідини у навколишнє середовище. Інтенсивність цього процесу залежить від температури, тиску, швидкості повітряного потоку, а також від фізичних та хімічних властивостей рідини. Важливими параметрами є концентраційний градієнт між поверхнею рідини та навколишнім середовищем, а також енергія, необхідна для подолання міжмолекулярних зв'язків.

Конденсація відбувається у разі досягнення точок насичення парової фази, коли надлишок молекул переходить у рідкий стан. У цьому процесі відбувається не лише масоперенесення, але й тепловиділення, що відіграє значну роль у системах теплообміну. Конденсація може бути плівковою або краплинною, що впливає на ефективність передачі маси та тепла.

У промислових системах процеси випаровування використовуються у сушінні, дистиляції, зневодненні матеріалів, тоді як конденсація є важливою у холодильних установках, системах рекуперації та осушенні повітря.

Основна частина. Для аналізу масоперенесення під час випаровування потрібно враховувати вплив температури рідини та навколишнього середовища, швидкість повітряного потоку та наявність механізмів перемішування. Висока температура сприяє збільшенню швидкості випаровування, оскільки молекули отримують достатньо енергії для переходу у газоподібний стан. Посилена циркуляція повітря зменшує концентрацію пари над поверхнею рідини, що збільшує інтенсивність масоперенесення.

У вентиляційних системах випаровування відіграє важливу роль у підтримці вологості повітря. Прикладом є зволожувачі повітря, де випаровування використовується для регулювання мікроклімату приміщень. Інший випадок: випаровування води з охолоджуваних поверхонь, яке сприяє зниженню температури в умовах інтенсивного теплообміну.

Процес конденсації вимагає аналізу умов, за яких відбувається насичення парів та їх перехід у рідкий стан. Зменшення температури сприяє утворенню конденсату, що використовується у теплообмінниках, системах регенерації

вологи та осушення повітря. Прикладом є конденсаційні котли, де пароподібні продукти згоряння охолоджуються, віддаючи тепло воді, що циркулює у системі.

У промислових умовах випаровування використовується в технологічних процесах, зокрема у хімічній промисловості, харчовій галузі та системах очищення води. Конденсація є важливою у холодильних установках, де охолоджений теплоносієм переходить у рідку фазу, а також у системах осушення, де надмірна волога видаляється з повітряного потоку.

Ефективне керування масопередачею у процесах випаровування та конденсації дозволяє оптимізувати енергетичні витрати, підвищити ефективність систем кондиціонування, вентиляції та опалення, а також забезпечити стабільність технологічних процесів.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 15

Теоретичні питання

1. Як температура впливає на швидкість випаровування у вентиляційних системах?
2. Які основні механізми масоперенесення під час випаровування та конденсації?
3. Чому швидкість повітряного потоку впливає на ефективність випаровування?
4. Які типи конденсації існують та які фактори впливають на їхню ефективність?
5. Як використовується конденсація у системах осушення повітря?
6. Чому у промислових процесах важливо контролювати інтенсивність випаровування?
7. Які технологічні методи можуть бути застосовані для оптимізації процесів випаровування та конденсації?

16 МАСОПЕРЕНЕСЕННЯ В СИСТЕМАХ З ПРИМУСОВОЮ ЦИРКУЛЯЦІЄЮ

Мета заняття: дослідження процесів масоперенесення в системах з примусовою циркуляцією, аналіз впливу параметрів потоку на інтенсивність перенесення маси, а також визначення основних технічних рішень для оптимізації цих процесів.

Теоретичні положення. Масоперенесення у системах з примусовою циркуляцією відбувається під дією зовнішніх сил, що забезпечують рух робочого середовища. На відміну від природної циркуляції, де перенесення речовин визначається різницею густини через зміну температури або складу середовища, примусова циркуляція передбачає використання pomp, вентиляторів, компресорів чи інших механізмів для створення потоку.

Основними чинниками, що впливають на масоперенесення у таких системах, є швидкість потоку, в'язкість, густина, концентраційні градієнти, а також геометрія трубопроводів і апаратів. Висока швидкість руху середовища сприяє інтенсифікації перенесення речовин, оскільки зменшує товщину прикордонного шару, що обмежує дифузійні процеси.

Масоперенесення у системах з примусовою циркуляцією поділяється на молекулярне і конвективне. Молекулярне масоперенесення відбувається за рахунок дифузії частинок внаслідок градієнта концентрації. Конвективне масоперенесення є результатом перемішування середовища завдяки дії силової циркуляції, що значно прискорює процес порівняно з молекулярним механізмом.

У вентиляційних системах примусова циркуляція використовується для підтримки необхідного газового складу повітря, видалення шкідливих речовин та запобігання застійним зонам. У технологічних установках масоперенесення реалізується, наприклад, у скруберах, де газоподібні домішки розчиняються у рідині, або у тепломасообмінних апаратах, де відбувається контакт різних фаз.

Основна частина. У системах примусової циркуляції масоперенесення відбувається більш інтенсивно, оскільки зовнішні механізми забезпечують

стабільний потік середовища, запобігаючи локальним перепадам концентрацій та створенню застійних зон.

Під час аналізу масоперенесення у вентиляційних мережах важливо враховувати параметри потоку, оскільки турбулентний режим забезпечує більш ефективне перемішування газових потоків порівняно з ламінарним рухом. Турбулентність сприяє руйнуванню прикордонного шару, що полегшує процес дифузії та підвищує ефективність масообмінних процесів.

У промислових системах з примусовою циркуляцією важливу роль відіграє рівномірність розподілу потоку по всьому об'єму. Наприклад, у камерах сушіння рівномірний розподіл повітря сприяє однаковому випаровуванню вологи з усіх частин матеріалу, а в газоочисних системах ефективно масоперенесення забезпечує максимальне видалення шкідливих речовин з потоку.

Одним із важливих аспектів оптимізації систем є правильний вибір обладнання для забезпечення необхідної швидкості циркуляції. Застосування вентиляторів з регульованою продуктивністю, змінних сопел, дифузорів та змішувальних камер дозволяє забезпечити контрольовані умови масоперенесення.

У рідинних системах з примусовою циркуляцією (наприклад, у теплотехнічних установках) масоперенесення може обмежуватися параметрами теплоносія. В'язкість, густина та температура рідини визначають швидкість переміщення частинок у потоці. За підвищеної швидкості рідини виникає ефект гідродинамічної турбулентності, що підсилює масоперенесення і покращує ефективність системи.

Застосування сучасних методів моделювання масоперенесення, таких як CFD (Computational Fluid Dynamics), дозволяє прогнозувати поведінку потоку, аналізувати розподіл концентрацій та визначати критичні зони, де процеси обміну речовин можуть бути неефективними.

Оптимізація масоперенесення у системах з примусовою циркуляцією є важливим аспектом проєктування вентиляційних, газоочисних та

теплотехнічних установок, що дозволяє покращити енергетичну ефективність і стабільність їх роботи.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 16

Теоретичні питання

1. Які основні механізми масоперенесення реалізуються у системах з примусовою циркуляцією?
2. Як швидкість потоку впливає на ефективність масоперенесення?
3. У чому різниця між молекулярним і конвективним механізмами масоперенесення?
4. Які фактори впливають на вибір обладнання для систем з примусовою циркуляцією?
5. Як турбулентність сприяє підвищенню ефективності масоперенесення?
6. Яким чином можна моделювати процеси масоперенесення у вентиляційних системах?
7. Які технічні рішення дозволяють оптимізувати масоперенесення у промислових системах?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Temperature field analysis in tunnel construction ventilation with emphasis on duct leakage and thermal conductivity, Case Studies in Thermal Engineering [Electronic resource] / Lintao Fan [and all]. – Electronic text data. – Vol. 61, September 2024, 105102. – Regime of access: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.105102>, free (date of the application: 05.05.2025). – Header from the screen.
2. Tunnel construction ventilation frequency-control based on radial basis function neural network, Automation in Construction [Electronic resource] / Rong Liu [and all]. – Electronic text data. – Vol. 118, October 2020, 103293. – Regime of access: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103293>, free (date of the application: 12.05.2025). – Header from the screen.
3. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – Чинний від 2022–01–09. – Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2021. – 27 с.
4. Construction of linear temperature model using non-dimensional heat exchange ratio: Towards fast prediction of indoor temperature and heating, ventilation and air conditioning systems control, Energy and Buildings [Electronic resource] / Chen Ren [and all]. – Electronic text data. – Vol. 251, 15 November 2021, 111351. – Regime of access: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111351>, free (date of the application: 12.05.2025). – Header from the screen.
5. Effect of tunnel ventilation on surrounding rock temperature field and heat regulating circle during construction phase, Tunnelling and Underground Space Technology [Electronic resource] / Ming-Rui Luo [and all]. – Electronic text data. – Vol. 150, August 2024, 105835. – Regime of access: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2024.105835>, free (date of the application: 12.05.2025). – Header from the screen.
6. ДБН В.2.5-20:2018. Газопостачання. – Чинний від 2020–01–06. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2019. – 109 с.
7. ДБН В.2.5-77:2014. Котельні зі зміною № 1. – Чинний від 2018–01–07. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2022. – 55 с.
8. Burda Y. Comprehensive analysis of thermodynamic and thermophysical processes in heat and gas supply and ventilation systems: theoretical foundations and engineering solutions [Electronic resource] : monograph / Y. Burda; Kharkiv. O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. – Electronic text data. – Kharkiv : O. M. Beketov NUUE, 2025. – 130 p. – URL: <https://eprints.kname.edu.ua/68140/>, free (date of the application: 12.05.2025). – Header from the screen.

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації

до проведення практичних занять та самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ТЕРМОДИНАМІКА І ТЕПЛОМАСООБМІН»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія
галузі знань 19 – Архітектура та будівництво,
освітня програма «Цивільна інженерія»)*

Укладач **БУРДА** Юрій Олександрович

Відповідальний за випуск *Ю. І. Чайка*

Редактор Б. О. Хільська

Комп'ютерне верстання *Ю. О. Бурда*

План 2025, поз. 498М

Підп. до друку 13.05.2025. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 2,6.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська (Маршала Бажанова), 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office @kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.