

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

Ю. О. Бурда

ТЕРМОДИНАМІКА І ТЕПЛОМАСООБМІН

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(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**

УДК 536.24:66.021.3](076.6)

Бурда Ю. О. Термодинаміка і тепломасообмін : конспект лекцій (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») / Ю. О. Бурда ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 49 с.

Автор

канд. техн. наук, доц. Ю. О. Бурда

Рецензент

А. Д. Череднік, кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою теплогазопостачання і вентиляції, протокол № 5 від 12.12.2024

© Ю. О. Бурда 2025

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Лекція 1 Термодинамічні параметри стану. Основні поняття.....	6
Питання для самоконтролю.....	8
Лекція 2 Ідеальні гази.....	9
Питання для самоконтролю.....	11
Лекція 3 Перший закон термодинаміки.....	11
Питання для самоконтролю.....	15
Лекція 4 Другий та третій закони термодинаміки.....	15
Питання для самоконтролю.....	18
Лекція 5 Холодильні машини.....	18
Питання для самоконтролю.....	20
Лекція 6 Основні термодинамічні цикли.....	20
Питання для самоконтролю.....	22
Лекція 7 Основи теплопередачі: механізми і типи передачі тепла.....	22
Питання для самоконтролю.....	24
Лекція 8 Теплопровідність: теорія та практичні застосування.....	24
Питання для самоконтролю.....	26
Лекція 9 Конвекція: види і методи аналізу.....	27
Питання для самоконтролю.....	29
Лекція 10 Теплообмінники: принципи роботи та конструкційні особливості....	29
Питання для самоконтролю.....	32
Лекція 11 Теплопередача в багатошарових матеріалах: теоретичні основи та моделювання.....	32
Питання для самоконтролю.....	35
Лекція 12 Основи масопередачі в будівельних матеріалах: теоретичні принципи і процеси перенесення.....	35
Питання для самоконтролю.....	37
Лекція 13 Масопередача в будівельних конструкціях: вологоперенесення і його вплив на міцність матеріалів.....	37
Питання для самоконтролю.....	39
Лекція 14 Масопередача в умовах будівельних конструкцій: поглинання та виведення забруднювач.....	39
Питання для самоконтролю.....	41

Лекція 15 Масопередача в умовах будівельних конструкцій: поглинання та виведення забруднювачі.....	41
Питання для самоконтролю.....	44
Лекція 16 Масопередача у теплоізоляційних матеріалах: визначення ефективності та вибір матеріалів для будівель.....	44
Питання для самоконтролю.....	47
Список рекомендованих джерел.....	48

ВСТУП

Термодинаміка і тепломасообмін є фундаментальними науками, що вивчають енергетичні процеси та механізми перенесення теплоти й маси у різних фізичних системах. Вони відіграють ключову роль у розумінні фізичних явищ, що супроводжують теплові процеси, забезпечують ефективність роботи промислового обладнання та визначають параметри різноманітних технологічних процесів у машинобудуванні, енергетиці, будівництві, хімічній промисловості та багатьох інших сферах.

Термодинаміка як наука базується на фундаментальних законах збереження та перетворення енергії, визначає принципи функціонування теплоенергетичних установок, холодильних машин, компресорного обладнання та інших систем, що використовують зміну теплової енергії для виконання механічної роботи. Основні положення термодинаміки є основою створення та вдосконалення технологій перетворення енергії, підвищення їхньої ефективності, забезпечення раціонального використання ресурсів та зменшення впливу на навколишнє середовище.

Тепломасообмін, зі свого боку, є обов'язковим складником термодинамічних процесів, оскільки визначає закономірності перенесення енергії та речовини у вигляді теплопровідності, конвекції та випромінювання. Вивчення цих механізмів дає змогу прогнозувати й оптимізувати режими роботи теплообмінних апаратів, оцінювати ефективність термоізоляційних матеріалів, моделювати процеси горіння, охолодження, випаровування та конденсації в різноманітних інженерних системах.

Сучасний розвиток науки і техніки висуває нові вимоги до розуміння й застосування законів термодинаміки та тепломасообміну. Вдосконалення енергетичних технологій, розробка нових матеріалів із покращеними теплофізичними властивостями, впровадження інноваційних підходів у проєктуванні вентиляційних і кліматичних систем – усе це потребує глибокого володіння теоретичними знаннями та практичними навичками у цій галузі.

Цей конспект лекцій спрямовано на формування базових та поглиблених знань з термодинаміки і тепломасообміну, допомагає засвоїти основні закономірності теплових процесів, опанувати методи їх розрахунку та аналізу, а також сприяє розвитку навичок застосування отриманих знань у професійній діяльності.

Лекція 1 Термодинамічні параметри стану. Основні поняття

Термодинаміка як наука вивчає закономірності перетворення енергії та її розподілу у фізичних системах. Для опису стану будь-якої термодинамічної системи використовуються певні характеристики, які дозволяють визначити її внутрішній стан і спрогнозувати поведінку під час взаємодії із зовнішнім середовищем.

Основою для аналізу будь-якого термодинамічного процесу є чітке розуміння того, що саме визначає стан речовини або системи. Ці характеристики мають властивість однозначно описувати поточний стан незалежно від того, яким чином система до нього прийшла. Їх зміна є наслідком впливу зовнішніх факторів, що можуть бути викликані як надходженням або відведенням енергії, так і зміною механічних умов, у яких знаходиться система.

Кожна термодинамічна система може бути охарактеризована через параметри, що відображають її макроскопічний стан. Усі ці характеристики взаємопов'язані між собою і змінюються відповідно до певних фізичних законів. Для практичного застосування важливо розуміти, що ці параметри можуть бути виміряні експериментальним шляхом або розраховані за допомогою відомих залежностей.

Описуючи будь-яку систему, необхідно враховувати її фізичну природу та умови, в яких вона перебуває. Наприклад, для газів ідеальним підходом є використання параметрів, що базуються на їхніх молекулярно-кінетичних особливостях, у той час як для рідин і твердих тіл важливішими стають характеристики, пов'язані з внутрішньою структурою та фазовими перетвореннями.

Одним із ключових аспектів у вивченні параметрів стану є їх взаємозв'язок та зміна в процесах, що супроводжують взаємодію системи із середовищем. Для опису цих змін важливо не лише знати поточний стан системи, а й розуміти, як саме зовнішні впливи можуть привести до перерозподілу енергії та зміни рівноважного стану.

Отже, аналіз термодинамічних параметрів стану є важливою складовою загального розуміння принципів термодинаміки. Він дозволяє не лише прогнозувати поведінку системи, але й формувати ефективні стратегії управління тепловими та енергетичними процесами у технічних і природних системах.

Термодинамічні параметри стану – це величини, що характеризують стан термодинамічної системи. Вони поділяються на інтенсивні (не залежать від маси системи: наприклад тиск, температура) та екстенсивні (залежать від маси: наприклад об'єм, енергія).

Тиск (P) – сила, що діє на одиницю площі поверхні. Вимірюється в Паскалях (Па). Тиск пов'язаний із зіткненням частинок речовини зі стінками посудини.

Температура (T) – міра середньої кінетичної енергії частинок системи. Вимірюється в кельвінах (К) або градусах Цельсія ($^{\circ}\text{C}$). Температура визначає напрямок теплопередачі: тепло завжди передається від тіла з вищою температурою до тіла з нижчою.

Об'єм (V) – простір, який займає система. Вимірюється в кубічних метрах (м^3). Об'єм може змінюватися залежно від тиску та температури.

Ентропія (S) – міра безладдя або кількість можливих мікростанів системи. Зростає в ізольованих системах, що відображає другий закон термодинаміки. Вимірюється в джоулях на кельвін (Дж/К).

Внутрішня енергія (U) – сума кінетичної та потенційної енергій усіх частинок системи. Містить теплову енергію та енергію взаємодії між частинками.

Ентальпія (H) – термодинамічний потенціал, що враховує внутрішню енергію та роботу, виконану системою у разі постійного тиску. Використовується для опису теплових процесів.

Основні поняття

Термодинаміка вивчає перетворення енергії, тепла та роботи в системах. Вона базується на кількох фундаментальних законах. Перший закон говорить про збереження енергії: енергія не зникає і не створюється, а лише перетворюється. Другий закон описує напрямки процесів: тепло самоправно передається лише від гарячого тіла до холодного. Третій закон пов'язує ентропію з абсолютним нулем температури, де ентропія системи наближається до мінімального значення.

Термодинамічна система – це частина всесвіту, яку ми вивчаємо, а навколишнє середовище – це все, що за її межами. Стан системи описується такими параметрами, як тиск, об'єм, температура та ентропія. Рівновага – це стан, коли параметри системи не змінюються з часом [1].

Ентропія – це міра безладдя в системі, яка зазвичай зростає в ізольованих системах. Теплота та робота – це способи передачі енергії між системою та оточенням.

Питання для самоконтролю

1. Як термодинамічні параметри стану дозволяють однозначно описати стан системи?
2. Чому зміна термодинамічних параметрів є наслідком впливу зовнішніх факторів?
3. Як відмінності у фізичній природі речовин впливають на вибір параметрів для їх опису?
4. Чому важливо розглядати взаємозв'язок між термодинамічними параметрами у процесах, що супроводжують взаємодію системи із середовищем?
5. Як аналіз термодинамічних параметрів сприяє ефективному управлінню тепловими та енергетичними процесами?

Лекція 2 Ідеальні гази

Ідеальний газ – це модель, яка використовується в термодинаміці для спрощеного опису поведінки реальних газів у різних умовах. Ця концепція базується на припущенні, що молекули газу є матеріальними точками, які не взаємодіють одна з одною, окрім моментів пружних зіткнень. Таке ідеалізоване уявлення дозволяє спростити математичний опис газових процесів, зберігаючи водночас можливість якісного та кількісного аналізу основних закономірностей.

Гази у природі складаються з великої кількості частинок, що перебувають у безперервному хаотичному русі. Цей рух визначає макроскопічні властивості, які можна спостерігати й вимірювати. Незважаючи на те що реальні гази мають певні відхилення від ідеальної моделі, у більшості випадків їх поведінку можна достатньо точно описати, якщо тиск не надто високий, а температура не надто низька.

Важливим моментом у вивченні ідеальних газів є розуміння того, що всі макроскопічні параметри, які характеризують систему, взаємопов'язані. Будь-яка зміна температури, тиску або об'єму призводить до відповідної зміни інших характеристик, що дозволяє передбачати поведінку газу в різних умовах. Такий підхід є особливо важливим для інженерних і наукових застосувань, оскільки він дає можливість проєктувати технологічні процеси, пов'язані з газовими середовищами.

Знання про ідеальні гази використовуються в багатьох сферах, починаючи від проєктування двигунів внутрішнього згоряння і закінчуючи розрахунками роботи компресорного обладнання та вентиляційних систем. Оскільки реальні гази лише наближено відповідають цій моделі, у деяких випадках необхідно враховувати поправки, пов'язані з міжмолекулярною взаємодією або впливом зовнішніх полів. Проте навіть у таких випадках поняття ідеального газу залишається основою для аналізу газових процесів і є відправною точкою для побудови більш складних моделей [2].

Рівняння ідеального газу – це математичний вираз, що встановлює

взаємозв'язок між основними параметрами газу, такими як тиск, температура та об'єм. Воно відображає фундаментальні принципи поведінки газових частинок і дозволяє визначати, як змінюється стан газу під впливом різних зовнішніх умов.

Це рівняння ґрунтується на тому, що кількість молекул у газі є сталою, а їхній хаотичний рух визначає основні властивості системи. Якщо змінюється температура, це означає, що частинки рухаються швидше або повільніше, що, зі свого боку, впливає на тиск, якщо об'єм залишається сталим. Якщо ж об'єм змінюється, це відображається на густоті газу, що також впливає на інші параметри.

Однією з важливих особливостей цього рівняння є те, що воно дозволяє розрахувати будь-який із параметрів, знаючи інші. Це має велике практичне значення у різних галузях науки та техніки. Наприклад, у вентиляційних системах його використовують для розрахунку потоків повітря, а в енергетиці – для оцінки процесів горіння або роботи теплових двигунів.

Оскільки реальні гази можуть мати відхилення від ідеальної моделі, у певних випадках потрібно враховувати поправки, пов'язані з взаємодією молекул або ефектами, що виникають за дуже високих тисків чи низьких температур. Проте рівняння ідеального газу залишається основним інструментом для розуміння загальних закономірностей поведінки газових середовищ.

Це рівняння є основним інструментом для опису поведінки ідеальних газів і часто використовується в фізиці, хімії та інженерії для розрахунків, пов'язаних із газами. Хоча реальні гази не завжди повністю відповідають цій моделі, вона дає хороше наближення для багатьох практичних ситуацій.

Рівняння також враховує кількість речовини (газу), яка вимірюється в молях. Чим більше молекул газу в системі, тим більший вплив вони мають на тиск і об'єм за певної температури.

Нижче подано графічне зображення рівняння ідеального газу, яке демонструє взаємозв'язок між основними параметрами газу, такими як тиск, об'єм і температура (рис 2.1).



Рисунок 2.1 – Графічне зображення рівняння ідеального газу

Отже, концепція ідеального газу є фундаментальною для термодинаміки та молекулярної фізики, оскільки дозволяє встановити чіткі зв'язки між основними параметрами газової системи та пояснити широкий спектр явищ, що спостерігаються у природі та техніці.

Питання для самоконтролю

1. Яке основне припущення є основою моделі ідеального газу?
2. Як хаотичний рух молекул впливає на макроскопічні властивості газу?
3. Чому рівняння ідеального газу використовується для прогнозування змін стану газових систем?
4. В яких умовах реальні гази можуть відхилятися від поведінки ідеального газу?
5. Чому модель ідеального газу залишається корисною для інженерних і наукових розрахунків незважаючи на існування реальних відхилень?

Лекція 3 Перший закон термодинаміки

Нульовий закон термодинаміки є одним із найбільш фундаментальних, але й найбільш інтуїтивно зрозумілих принципів в термодинаміці. Він стверджує, що якщо два тіла знаходяться в термодинамічній рівновазі з третім тілом, то вони також будуть знаходитися в рівновазі одне з одним. Це правило має важливе

значення для вимірювання температури і є основою для практичних приладів, таких як термометри.

Щоб зрозуміти сутність цього закону, уявімо собі три об'єкти: тіло А, тіло В і тіло С. Якщо А і С перебувають у рівновазі, і В та С теж перебувають у рівновазі, то, відповідно до нульового закону, А і В також будуть в термодинамічній рівновазі між собою. Це означає, що температури всіх трьох тіл будуть однаковими, і між ними не буде теплового потоку.

Цей закон є основою для вимірювання температури, оскільки він дозволяє створити шкалу температури, де всі тіла, що знаходяться в термодинамічній рівновазі, мають однакову температуру. Без цього закону було б неможливо визначити, чи є температура у двох тіл однаковою, оскільки ми не мали б принципу для її вимірювання. Тому нульовий закон є основою для створення абсолютно точних термометрів, на яких будується вся наша система вимірювання температури.

З теоретичної точки зору цей закон визначає фундаментальні взаємозв'язки між тілами, коли ми намагаємось встановити, чи мають вони однакову температуру. Термодинамічна рівновага тут є ключовим поняттям, оскільки вона свідчить про те, що у всіх трьох тіл однакова енергія на молекулярному рівні, і тому не відбувається теплове перетікання між тілами.

Нульовий закон термодинаміки хоча й здається простим, фактично є базовим для більш складних понять у термодинаміці та фізиці загалом. Завдяки йому ми можемо зрозуміти, як виміряти температуру, та використати це вимірювання у інших фізичних процесах і теоріях.

Термодинаміка як наука базується на фундаментальних законах, які описують перетворення енергії в різних фізичних системах. Перший закон термодинаміки є одним із найважливіших принципів, що встановлює взаємозв'язок між теплотою, роботою та зміною внутрішньої енергії системи. Він формулює основний принцип збереження енергії, згідно з яким енергія не може виникати з нічого і не може зникати безслідно, а лише переходить із однієї форми в іншу.

Щоб зрозуміти сутність цього закону, важливо розглянути, як змінюється стан термодинамічної системи під впливом зовнішніх факторів. Коли до системи надходить теплота, її внутрішня енергія збільшується, що може проявлятися у підвищенні температури або зміні агрегатного стану речовини. Якщо ж система виконує роботу над зовнішнім середовищем, то частина енергії витрачається саме на цей процес, і внутрішня енергія відповідно зменшується. У такий спосіб кількість теплоти, що надійшла до системи, може розподілятися між збільшенням її внутрішньої енергії та виконанням роботи над навколишнім середовищем [3].

Розуміння першого закону термодинаміки має величезне значення для аналізу та проєктування теплотехнічних процесів. Він пояснює, як і чому змінюється енергетичний стан будь-якого тіла, що перебуває у контакті з іншими системами. Наприклад, у двигунах внутрішнього згоряння теплота, що виділяється під час хімічної реакції, частково використовується для виконання механічної роботи, а частково розсіюється у вигляді теплових втрат. У холодильних машинах і теплових помпах перетворення енергії відбувається таким чином, щоб здійснювати перенесення теплоти з одного середовища в інше, що також є наслідком першого закону термодинаміки.

Для пояснення цього закону можна уявити закриту систему, у якій відбувається обмін енергією без зміни маси. Якщо до такої системи надходить певна кількість теплоти, вона може бути використана або для збільшення внутрішньої енергії, або для виконання роботи над зовнішнім середовищем, або ж частково для обох процесів одночасно. Це означає, що незалежно від способу отримання або витрати енергії, її загальна кількість залишається сталою, лише змінюється її форма.

Застосування першого закону термодинаміки поширюється на різноманітні процеси, включно із роботою парових турбін, двигунів, котлів, систем охолодження та обігріву. У техніці цей закон використовується для розрахунку теплових балансів і визначення ефективності різних установок. Наприклад, у системах центрального опалення враховується кількість теплоти,

що передається теплоносієм, і кількість енергії, яка втрачається через стіни та трубопроводи.

Далі подано рисунок 3.1, який ілюструє взаємозв'язок між внутрішньою енергією (U), теплом (Q) і роботою (W), а також показує, як енергія переходить від тепла до роботи в закритій системі.

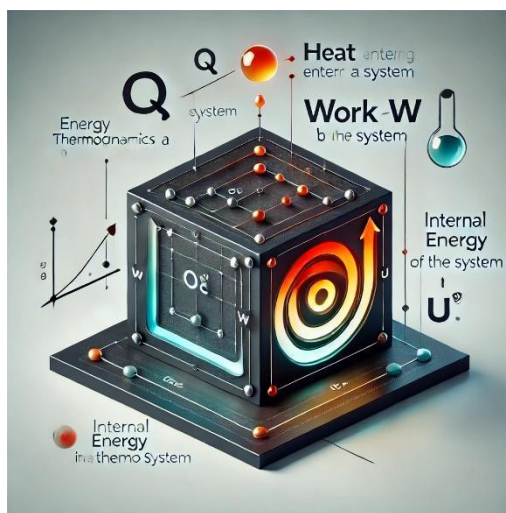


Рисунок 3.1 – Графічне зображення рівняння ідеального газу

Важливо розуміти, що внутрішня енергія системи складається з різних форм енергії, таких як кінетична енергія хаотичного руху молекул, потенційна енергія взаємодії частинок і хімічна енергія зв'язків між атомами. У багатьох реальних процесах значна частина підведеної енергії може переходити у невикористану форму, що впливає на ефективність роботи установок. Саме тому в інженерних розрахунках прагнуть мінімізувати втрати та підвищити коефіцієнти корисної дії систем.

Особливу роль перший закон термодинаміки відіграє в аналізі рівноважних і нерівноважних процесів. Якщо система знаходиться у термодинамічній рівновазі, то всі процеси в ній відбуваються повільно, а розподіл енергії є рівномірним. Однак у реальних умовах багато систем працюють у динамічному режимі, коли теплота підводиться чи відводиться нерівномірно, а виконання роботи супроводжується втратами, спричиненими тертям, теплопередачею або випромінюванням.

Незважаючи на свою простоту, цей закон є фундаментальним для розуміння багатьох природних і технічних явищ. У атмосферних процесах він пояснює, як нагрівання повітря може спричиняти зміни в атмосферному тиску, що призводить до формування вітрів і кліматичних змін. У біологічних системах він допомагає зрозуміти, як живі організми обмінюються енергією з навколишнім середовищем, отримуючи її з їжі або сонячного випромінювання.

Отже, перший закон термодинаміки є універсальним принципом, який визначає загальні закономірності енергетичних перетворень у природі та техніці. Він підтверджує, що енергія не зникає, а лише змінює свою форму, і дозволяє кількісно оцінювати ці перетворення для оптимізації технологічних процесів та підвищення ефективності енергетичних систем.

Питання для самоконтролю

1. Яке математичне вираження першого закону термодинаміки і що означає кожен його компонент?
2. Як зміна внутрішньої енергії системи пов'язана з теплом і роботою, що виконується системою чи над системою?
3. У чому полягає принцип збереження енергії в термодинамічних процесах і як це стосується першого закону?
4. Як можна використати перший закон термодинаміки для аналізу роботи теплових машин?
5. Які приклади реальних термодинамічних процесів і систем, що підпадають під дію першого закону термодинаміки, ви можете навести?

Лекція 4 Другий та третій закони термодинаміки

Другий закон термодинаміки є одним із засадничих принципів, що визначають напрямок фізичних процесів у природі. У найзагальніших рисах він описує, що природні процеси завжди рухаються в бік збільшення ентропії, тобто міри безладу або хаосу в системі. Це пояснює, чому певні процеси є незворотними – наприклад, тепловий потік завжди йде від гарячого тіла до

холодного, і це відбувається без можливості повернення цього процесу без зовнішнього втручання.

Один із найважливіших аспектів другого закону полягає в тому, що не всі енергетичні перетворення можуть відбуватися з 100-відсотковою ефективністю. Часта ілюстрація цього принципу – теплові машини, зокрема двигуни внутрішнього згоряння. Незважаючи на те що частина тепла перетворюється в роботу, інша частина завжди витрачається на нагрівання навколишнього середовища, і це явище неможливо повністю усунути. Тому жоден термодинамічний цикл не може працювати з максимальним коефіцієнтом корисної дії.

Цей закон також вказує на обмеження можливості створення «вічних двигунів» – пристроїв, які могли б працювати без припинення, не витрачаючи енергії. Згідно з другим законом, для того щоб здійснити роботу, потрібно постійно витрачати певну кількість енергії, оскільки кожен процес у природі супроводжується збільшенням ентропії, що неминуче веде до втрати частини енергії у вигляді тепла.

Ще однією важливою ідеєю є принцип, що не тільки енергетичні перетворення є незворотними, але й самі фізичні процеси, наприклад, змішування двох газів чи перенесення тепла між тілами різних температур. У природі немає механізмів, які б спонукали ці процеси йти у зворотному напрямку – від більшого безладу до меншого. Таким чином, другий закон термодинаміки надає певний напрямок еволюції фізичних систем, визначаючи, що зміни в природі відбуваються у бік зростання ентропії.

Цей закон має глибокі наслідки для нашого розуміння всесвіту. Він пояснює, чому всі процеси в природі зрештою ведуть до стану термодинамічної рівноваги, де ентропія системи максимальна і неможливі подальші зміни без зовнішнього впливу. У масштабах Всесвіту це означає, що в далекому майбутньому все має прагнути до рівноважного стану, відомого як теплова смерть, коли всі процеси припиняться, а температура і енергія розподіляться рівномірно.

Отже, другий закон термодинаміки не тільки описує фізичні процеси, але й обмежує можливості людства щодо енергетичних перетворень, вказуючи на неминучість втрат у кожному процесі і на обмеження, пов'язані з ефективністю машин і технологій.

Третій закон термодинаміки є важливим принципом, який описує поведінку ентропії в системах, що наближаються до температури абсолютного нуля. Абсолютний нуль (0 K) є теоретичною температурою, за якої вся молекулярна рухливість припиняється, і система досягає мінімуму своєї енергії. Третій закон термодинаміки стверджує, що із наближенням температури до абсолютного нуля, ентропія системи наближається до мінімального значення, яке часто дорівнює нулю для ідеальних кристалів.

Що це означає на практиці? За високих температур молекули і атоми в системі рухаються з великою швидкістю і мають багато можливостей для зміни свого стану. Це створює високу ентропію, тобто високий рівень безладу. Проте коли температура знижується, молекули поступово втрачають свою енергію, і система переходить до більш впорядкованого стану, що виражається в зменшенні ентропії.

Третій закон термодинаміки також має важливе значення для визначення абсолютної ентропії матеріалів. Для ідеальних кристалів за температури 0 K ентропія буде дорівнювати нулю, оскільки всі молекули або атоми розташовані в ідеально впорядкованому стані, без можливості рухатися або змінювати свій стан. Це дозволяє визначати абсолютні значення ентропії для різних матеріалів і процесів, а також дає можливість обчислювати енергетичні характеристики систем за різних температур.

Третій закон також має значення для розуміння термодинамічних процесів, що відбуваються за дуже низьких температур. Наприклад, він є основою для досліджень у сфері кріогеніки та для розробки технологій, які вимагають досягнення низьких температур, таких як надпровідність або квантові комп'ютери. У таких умовах навіть незначні зміни температури можуть значно впливати на поведінку матеріалів, і розуміння третього закону є ключовим для

цих технологій.

У загальному ж контексті третій закон термодинаміки підтверджує, що температура абсолютно нульового рівня є фізично досяжною теоретичною межею, яку неможливо досягти в реальності. Однак цей принцип важливий для нашого розуміння граничних умов енергетичних процесів, зокрема в низькотемпературній фізиці та вивченні молекулярної поведінки матеріалів.

Питання для самоконтролю

1. Який взаємозв'язок між ентропією і напрямком термодинамічних процесів згідно з другим законом термодинаміки?
2. Чому другий закон термодинаміки не дозволяє створити «вічний двигун»? Наведіть приклад.
3. Як третій закон термодинаміки пояснює поведінку ентропії із наближенням до абсолютного нуля?
4. Які практичні наслідки має другий закон термодинаміки для ефективності теплових машин і двигунів?
5. Як третій закон термодинаміки допомагає в обчисленні абсолютних значень ентропії для матеріалів за низьких температур?

Лекція 5 Холодильні машини

Холодильні машини є важливою частиною сучасних технологій, що використовуються для підтримки низьких температур у різних галузях, від побутових холодильників до промислових систем охолодження. Основним принципом їхньої роботи є перенесення тепла з одного середовища в інше, за допомогою різних термодинамічних процесів, що відбуваються в холодильному агенті.

Основний принцип роботи холодильних машин базується на використанні циклу стиснення і розширення робочого агента, що здатний змінювати свою фазу, перетворюючись із рідини на пару і навпаки. У холодильному агрегаті робочий агент, зазвичай газ, спочатку стискається до високого тиску в

компресорі. Цей процес підвищує температуру агента. Потім гарячий газ проходить через конденсатор, де він охолоджується і конденсується у рідину. Охолоджена рідина потрапляє до розширювального вентиля, де тиск різко знижується, що спричиняє її випаровування. Випаровування рідини поглинає тепло з навколишнього середовища, що забезпечує охолодження в цій частині системи [4].

Завдяки цьому процесу теплоту можна перенести з охолоджуваного простору в зовнішнє середовище. Такий цикл повторюється постійно, що дозволяє підтримувати потрібну температуру в охолоджуваному приміщенні або контейнері. Важливою характеристикою холодильних машин є коефіцієнт корисної дії, який залежить від ефективності перетворення енергії і вимірюється як відношення обсягу відведеного тепла до витраченої енергії на виконання роботи.

Холодильні машини застосовуються в різних сферах: побутовій, комерційній і промисловій. У побуті вони використовуються в холодильниках і морозильниках для зберігання продуктів. Вони також є незамінними в медицині для зберігання ліків і біологічних матеріалів, а також в харчовій промисловості для збереження продуктів за низьких температур. У промисловості холодильні машини використовуються для охолодження виробничих процесів, збереження та транспортування товарів, які потребують низьких температур.

Усі холодильні машини працюють за однаковим принципом, але можуть відрізнятися за конструкцією та характеристиками залежно від потреб і специфікацій. Наприклад, промислові холодильні системи можуть бути значно більшими за розмірами та потужністю, ніж побутові моделі, і використовувати різні види охолоджувальних агентів або різні методи теплообміну для підвищення ефективності.

Важливим напрямом розвитку холодильних машин є підвищення їх енергоефективності та зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Для цього розробляються нові типи холодильних агентів, які мають менший потенціал для руйнування озонового шару і викидів парникових газів, а

також застосовуються нові технології, які зменшують енергоспоживання і поліпшують ефективність процесу охолодження.

Отже, холодильні машини є важливими елементами сучасної інфраструктури, які забезпечують охолодження в різних сферах життя і виробництва, і продовжують розвиватися в напрямку зменшення енергоспоживання та покращення екологічних характеристик.

Питання для самоконтролю

1. Який принцип роботи холодильних машин, і як він забезпечує охолодження в системах?
2. Як змінюється температура і тиск холодильного агента під час проходження через компресор, конденсатор і розширювальний вентиль?
3. Що таке коефіцієнт корисної дії холодильних машин і як він вимірюється?
4. Які відмінності між побутовими та промисловими холодильними машинами, і як вони впливають на їхню конструкцію та ефективність?
5. Які сучасні підходи використовуються для підвищення енергоефективності холодильних машин та зменшення їхнього впливу на навколишнє середовище?

Лекція 6 Основні термодинамічні цикли

Основні термодинамічні цикли є важливою частиною вивчення термодинаміки, оскільки вони описують, як енергія може бути перетворена з однієї форми на іншу за допомогою різних механізмів і процесів. Ці цикли є основою роботи численних пристроїв, таких як двигуни, холодильні машини та багато інших теплових і енергетичних установок.

Одним із найбільш відомих термодинамічних циклів є цикли Карно. Цей цикл складається з двох ізотермічних і двох адіабатичних процесів, і він слугує теоретичним ідеалом для всіх теплових машин. У циклі Карно робоче тіло, що є газом, піддається розширенню і стисканню за постійної температури, що

дозволяє здійснювати роботу. Цей цикл є найбільш ефективним в умовах, коли немає втрат тепла, і використовує два резервуари: один гарячий і один холодний. Основною метою є максимізація ефективності перетворення тепла на роботу.

Іншим важливим циклом є цикл Ренкіна, який широко застосовується в парових турбінах і теплових електростанціях. Цей цикл передбачає перехід робочого тіла – води – через чотири основні етапи: стиснення у pompі, нагрівання із постійним тиском в котлі, розширення у турбіні і охолодження із постійним тиском в конденсаторі. Основною характеристикою цього циклу є використання рідини, що може змінювати свої фази – від рідини до пари, що дозволяє отримувати велику кількість енергії під час розширення пари в турбіні.

Цикл Стірлінга, на відміну від циклів Карно або Ренкіна, є циклом, в якому не відбувається зміни температури робочого тіла зі зміною його об'єму. Це замкнений цикл, в якому газ зазнає стиснення і розширення за постійних температур, однак процеси теплопередачі відбуваються в різних місцях. Цикл Стірлінга використовує два теплообмінники: один гарячий і один холодний, і може бути використаний у двигунах внутрішнього згоряння.

Один із важливих циклів у холодильних установках – це холодильний цикл, який зазвичай використовує процес стиснення і розширення робочого агента. Цикл починається з того, що газовий агент стискається в компресорі, нагрівається і скеровується у конденсатор, де він охолоджується і конденсується у рідину. Потім рідина проходить через розширювальний клапан, де тиск зменшується, і агент випаровується в охолоджуваному просторі, поглинаючи тепло. Це забезпечує зниження температури в холодильній системі.

Кожен із цих циклів має свої переваги та обмеження, і їх застосування залежить від конкретних технічних вимог і умов. Наприклад, цикл Карно є ідеальним, але в реальних умовах неможливо досягти такої ефективності через втрати тепла та механічні обмеження. Цикл Ренкіна широко використовується в енергетичних установках, оскільки вони дозволяють ефективно перетворювати тепло на роботу за високих температур, що характерно для промислових процесів. Цикл Стірлінга завдяки своїй конструкції є більш тихим і стабільним у

роботі, хоча й має менший коефіцієнт корисної дії порівняно з іншими [5].

Отже, основні термодинамічні цикли є базовими для розуміння, як можна ефективно перетворювати енергію в різних технічних системах, від промислових турбін до холодильників. Вибір конкретного циклу для використання в тій чи іншій установці залежить від багатьох факторів, таких як ефективність, вартість, температура і тиск, за яких працює система, а також вимоги до зручності і надійності в експлуатації.

Питання для самоконтролю

1. Який основний принцип роботи циклу Карно, і чому він є теоретичним ідеалом для теплових машин?
2. Як цикл Ренкіна застосовується в парових турбінах і теплових електростанціях? Опишіть його основні етапи.
3. У чому полягають основні відмінності між циклом Карно і циклом Стірлінга?
4. Які переваги і обмеження має цикл Стірлінга, і де він може бути найбільш ефективним?
5. Як холодильний цикл використовує принципи стиснення і розширення для охолодження середовища?

Лекція 7 Основи теплопередачі: механізми і типи передачі тепла

Теплопередача є фундаментальним процесом, що визначає обмін енергією між тілами або середовищами через різні механізми. Розуміння основ теплопередачі є важливим для багатьох галузей науки і техніки, включно із енергетикою, будівництвом, машинобудуванням, а також у таких сферах, як кліматичні системи та медична техніка.

Процес теплопередачі може відбуватися трьома основними способами: через теплопровідність, конвекцію і випромінювання. Кожен з цих механізмів має свої характерні особливості, умови і методи впливу на середовище.

Теплопровідність є одним з найбільш базових механізмів теплопередачі,

що описує передачу тепла через матеріал без його переміщення. Цей процес відбувається через часткові взаємодії між молекулами або атомами в твердих, рідких або газоподібних матеріалах. Коли одна частина тіла нагрівається, її молекули починають рухатися швидше, що призводить до передачі енергії на сусідні молекули, і таким чином тепло поширюється по всьому матеріалу. Теплопровідність є особливо важливою під час проектування теплоізоляційних матеріалів, таких як стіни будівель, що повинні мінімізувати теплообмін між внутрішнім і зовнішнім середовищем.

Конвекція, на відміну від теплопровідності, містить рух рідини або газу, що переносить тепло. Вона може бути природною або примусовою. Природна конвекція відбувається через різницю температур в середовищі, коли гаряче повітря (або рідина) піднімається вгору, а більш холодне спускається вниз. Цей процес є характерним для атмосферних явищ, таких як утворення вітрів і циркуляція в океанах. Примусова конвекція відбувається, коли рух рідини або газу створюється механічно, наприклад через вентилятори або помпи. Цей процес є основою для багатьох технологічних систем, таких як системи опалення, охолодження, а також у багатьох процесах теплообміну в промисловості.

Випромінювання є процесом, під час якого тепло передається у вигляді електромагнітних хвиль, зокрема в інфрачервоному діапазоні. Випромінювання може відбуватися без будь-якого посередника, тобто навіть у вакуумі, як це відбувається, наприклад, під час обміну теплом між Сонцем і Землею. Всі тіла, що мають температуру вище абсолютного нуля, випромінюють енергію у вигляді хвиль. Чим вища температура тіла, тим більша інтенсивність випромінювання. Випромінювання відіграє важливу роль в теплообміні між тілами в умовах, коли інші механізми передачі тепла не працюють або працюють менш ефективно, наприклад, у космічному просторі або у вакуумі [6]. Комбінація цих трьох механізмів визначає загальну ефективність теплопередачі в будь-якому середовищі чи процесі. Наприклад, у системах охолодження чи обігріву часто використовуються всі три механізми для забезпечення

ефективного теплообміну. Водночас різні матеріали по-різному проводять тепло. Тверді матеріали зазвичай мають вищу теплопровідність порівняно з рідинами і газами, хоча в рідких та газоподібних середовищах конвекція часто є головним способом передачі тепла.

Врахування всіх цих процесів і властивостей матеріалів є необхідним для точного розрахунку і проєктування будь-якої теплообмінної системи. Отже, теплопередача є не лише фізичним явищем, але й ключовим елементом в інженерії та технологіях, від побутових застосувань до високотехнологічних промислових систем.

Питання для самоконтролю

1. Які три основні механізми теплопередачі описує текст, і як вони відрізняються один від одного?
2. Як теплопровідність передає тепло в матеріалах, і які матеріали мають високу теплопровідність?
3. Що таке природна і примусова конвекція, і в чому їх основні відмінності?
4. Як випромінювання передає тепло, і чому цей механізм може відбуватися навіть у вакуумі?
5. Як комбінуються різні механізми теплопередачі у системах охолодження та опалення?

Лекція 8 Теплопровідність: теорія та практичні застосування

Теплопровідність – це один з основних механізмів теплопередачі, який визначає здатність матеріалів передавати тепло від більш нагрітої частини до більш холодної. Це явище відбувається без руху маси самого матеріалу, лише через молекулярні або атомні взаємодії, що передають енергію від більш теплих частинок до менш теплих. Теплопровідність є важливою характеристикою, яку враховують у багатьох сферах, таких як будівництво, енергетика, технічне обладнання та навіть медицина.

Основним механізмом теплопровідності є взаємодія між молекулами або атомами матеріалу. Коли одна частина матеріалу нагрівається, її молекули або атоми починають коливатися з більшою амплітудою. Це коливання передається на сусідні молекули, що, зі свого боку, викликає їх коливання. Такий процес переходу енергії від більш теплих молекул до менш теплих продовжується по всьому матеріалу, поки температура не вирівняється. У результаті цього процесу тепло поширюється через матеріал.

Теплопровідність безпосередньо залежить від властивостей матеріалу. Матеріали, які мають високу теплопровідність, добре проводять тепло. Це характерно для металів, таких як мідь, алюміній, залізо. Вони широко використовуються в різних технічних пристроях, де необхідно ефективно передавати тепло: наприклад в радіаторах, електронних приладах і обміні теплом у промисловості. З іншого боку, матеріали з низькою теплопровідністю, такі як дерево, пінопласт, скловата, використовуються в теплоізоляції, оскільки вони уповільнюють або практично блокують передачу тепла.

Крім цього, на теплопровідність впливає температура самого матеріалу. Зазвичай зі збільшенням температури матеріалу зростає його теплопровідність, однак це правило може змінюватися для деяких матеріалів або за екстремальних температур. Наприклад, для металічних матеріалів характерна лінійна залежність теплопровідності від температури, тоді як для ізоляційних матеріалів ця залежність може бути менш вираженою або зворотною.

Теплопровідність є важливим фактором у процесі розрахунку енергоефективності будівель, зокрема під час проєктування теплоізоляційних матеріалів для стін, дахів і вікон. У будівництві широко використовуються матеріали з низькою теплопровідністю, щоб зберегти тепло в приміщеннях і зменшити витрати на опалення. Наприклад, під час будівництва сучасних енергоефективних будинків застосовують пінополістирол, мінеральну вату та інші матеріали, що мають високу теплоізоляційну здатність.

Також важливою є роль теплопровідності в теплообмінниках. У промисловості теплообмінники використовуються для передачі тепла між

різними середовищами, наприклад, між гарячими та холодними рідинами, і тому матеріали, з яких вони виготовлені, повинні мати високу теплопровідність. Це дозволяє забезпечити ефективний теплообмін і зменшити витрати енергії.

Іншим практичним застосуванням теплопровідності є електроніка. У сучасних пристроях, таких як комп'ютери, мобільні телефони та інші електронні пристрої, необхідно ефективно відводити тепло від компонентів, щоб вони не перегрівалися. Для цього використовуються спеціальні теплові трубки, радіатори та термопасти, які виготовлені з матеріалів з високою теплопровідністю, таких як мідь або алюміній. Це дозволяє значно збільшити термін використання пристроїв та покращити їхню ефективність.

В медицині теплопровідність використовується під час створення різних пристроїв для лікування та діагностики, таких як термометри, апарати для фізіотерапії, а також в матеріалах для протезування та ортопедії, де важливо правильно передавати або блокувати тепло в певних зонах.

Отже, теплопровідність є не лише фізичним явищем, але й ключовою властивістю матеріалів, що має величезне значення для практичного застосування в багатьох галузях. Вибір матеріалів з певними властивостями теплопровідності дозволяє ефективно використовувати тепло, знижувати енерговитрати та покращувати ефективність різних технологічних процесів.

Питання для самоконтролю

1. Що таке теплопровідність і як вона відбувається в матеріалах?
2. Які матеріали мають високу теплопровідність і в яких сферах вони застосовуються?
3. Як температура матеріалу впливає на його теплопровідність?
4. Яка роль теплопровідності в енергоефективності будівель та матеріалах для теплоізоляції?
5. Як теплопровідність використовується в сучасній електроніці та медицині?

Лекція 9 Конвекція: види і методи аналізу

Конвекція – це один з основних механізмів теплопередачі, що полягає в перенесенні тепла завдяки руху рідини або газу. Цей процес є важливим як у природних явищах, так і в багатьох технічних системах, таких як системи опалення, охолодження, теплообміну та навіть у промислових процесах. Конвекція дозволяє ефективно передавати тепло через рух маси рідини чи газу, що істотно відрізняється від теплопровідності, де тепло передається лише через молекулярні взаємодії в матеріалі.

Конвекція поділяється на два основні види: природну і примусову. Природна конвекція відбувається, коли рух рідини або газу виникає за рахунок різниці температур, що призводить до змін щільності. Коли частина рідини або газу нагрівається, її молекули починають рухатися швидше, що призводить до збільшення об'єму і зменшення щільності. Внаслідок цього більш гарячі частини піднімаються вгору, а більш холодні — опускаються вниз. Такий процес відомий як «підйом теплого повітря» або «підйом теплої води» і є основою багатьох природних явищ, таких як повітряні потоки, океанічні течії, а також формування вітрів та погодних умов.

Примусова конвекція, зі свого боку, виникає, коли рух рідини або газу створюється зовнішнім механічним впливом, наприклад, за допомогою вентиляторів, pomp або турбін. Цей процес значно ефективніший, ніж природна конвекція, оскільки швидкість потоку можна контролювати і забезпечити значно більший тепловий обмін. Примусова конвекція широко застосовується в технічних системах, таких як охолоджувальні системи для двигунів, теплообмінники, а також в системах кондиціонування повітря та опалення.

Аналіз конвекції є важливою складовою термодинаміки та теплообміну. Для цього використовуються різні методи залежно від типу потоку і характеру середовища, через яке передається тепло. У простих випадках, коли потік рідини або газу є стаціонарним (тобто його швидкість не змінюється з часом), можна використовувати основні принципи механіки рідин і газів для визначення

швидкості потоку і температурних перепадів. Однак у більш складних випадках, коли потік є турбулентним, розрахунки можуть бути набагато складнішими і вимагати використання чисельних методів, таких як методи кінетичних рівнянь або моделювання за допомогою комп'ютерних програм.

У випадках, коли конвекція відбувається в непостійних умовах, наприклад, зі зміною температури середовища або у разі коливань температур, зазвичай застосовуються більш складні математичні моделі, які враховують зміни швидкості потоку, температури та тиску в залежності від часу. Це дозволяє точно передбачити поведінку системи і здійснити оптимальний вибір технічних рішень.

Аналіз конвекції зазвичай передбачає вивчення кількох ключових факторів. Один з них — це тепловий потік, який визначає кількість тепла, що передається за одиницю часу через певну одиницю площі. Для цього часто використовують поняття коефіцієнта теплопередачі, який залежить від властивостей рідини або газу, а також від швидкості потоку і характеру його руху. Важливим є також визначення коефіцієнта конвекції, який дозволяє описати ефективність передачі тепла між тілом і рідиною чи газом.

У промисловості і в технічних застосуваннях конвекція має величезне значення для розрахунків теплообміну в різних системах. Її можна застосувати до теплообмінників, холодильних установок, охолодження промислових котлів, автомобільних двигунів та інших технічних систем. У таких системах важливо точно розрахувати швидкість потоку рідини чи газу, щоб забезпечити ефективне охолодження або обігрів, знижуючи енерговитрати та підвищуючи продуктивність.

Також аналіз конвекції важливий для природних процесів, таких як атмосферні явища і океанські течії. Вивчення конвекції допомагає прогнозувати погоду, розуміти зміни клімату та відстежувати природні катастрофи, такі як урагани, які є результатом інтенсивної конвекції в атмосфері. Знання механізмів конвекції дозволяє також удосконалювати різні системи, що мають на меті зменшити енергетичні витрати на охолодження та обігрів, покращуючи

енергоефективність будівель та промислових об'єктів.

Отже, конвекція є важливим і складним процесом, що відіграє критичну роль у природі та техніці. Розуміння механізмів і методів аналізу конвекції є основою для створення ефективних систем теплообміну, що сприяє зменшенню енерговитрат, покращенню технічних характеристик обладнання та вирішенню глобальних проблем, пов'язаних з енергетикою та кліматом.

Питання для самоконтролю

1. Яка основна різниця між природною та примусовою конвекцією і в яких сферах застосовуються ці види?
2. Як температура впливає на процес конвекції в рідинах та газах?
3. Які методи аналізу конвекції використовуються для вивчення турбулентних потоків?
4. Чому в технічних системах, таких як охолоджувальні установки, важливо контролювати швидкість потоку?
5. Як конвекція впливає на природні процеси, такі як формування вітрів та океанічні течії?

Лекція 10 Теплообмінники: принципи роботи та конструкційні особливості

Теплообмінники – це пристрої, які використовуються для передачі тепла від одного середовища до іншого без змішування цих середовищ. Вони є важливою частиною багатьох технічних систем, зокрема в теплоенергетиці, охолоджувальних системах, кондиціонуванні повітря, а також у промислових процесах. Основне завдання теплообмінника полягає в тому, щоб забезпечити ефективний теплообмін між рідинами, газами або навіть твердими матеріалами, що дозволяє підтримувати оптимальні температурні умови в системах і знижувати енерговитрати.

Принцип роботи теплообмінників базується на законі теплопередачі, коли тепло переходить від більш гарячого середовища до більш холодного. Процес передачі тепла може здійснюватися через стінки, які розділяють два середовища,

але важливою умовою є те, що ці середовища не повинні змішуватися між собою. Для того щоб цей процес був ефективним, важливо правильно підібрати матеріали, з яких виготовлені теплообмінники, а також правильно спроектувати саму конструкцію.

Теплообмінники можуть мати різні конструктивні форми, залежно від того, для яких конкретних цілей вони використовуються. Існують змійовики, пластинчасті, трубчасті та інші типи теплообмінників, кожен з яких має свої особливості конструкції та переваги в певних умовах експлуатації.

Змійовики — це тип теплообмінників, у яких використовується трубка, скручена у вигляді спіралі або змійовика. Цей тип зазвичай використовується в системах, де важливо забезпечити компактність конструкції і максимальний контакт теплоносіїв. Змійовики можуть бути виготовлені з різних матеріалів, але найчастіше це мідь або нержавійна сталь. Вони широко застосовуються в холодильних системах, системах кондиціонування та навіть у хімічних процесах, де потрібна висока ефективність теплообміну за малих розмірів.

Пластинчасті теплообмінники складаються із низки тонких металевих пластин, між якими розташовуються канали для теплоносіїв. Така конструкція дозволяє збільшити площу поверхні для теплообміну, що робить процес передачі тепла значно ефективнішим. Пластинчасті теплообмінники дуже компактні, мають високу ефективність і широко застосовуються в системах, де простір є обмеженим, наприклад, в холодильниках, теплових помпах, а також в промислових установках для охолодження або нагріву рідин.

Трубчасті теплообмінники – це тип, що складається з трубок, через які проходять теплоносії. Трубки можуть бути розташовані паралельно або укладені у вигляді змійовика. Цей тип широко використовується у великих промислових теплообмінних системах, зокрема в котлах, теплоелектростанціях, а також у нафтопереробній та хімічній промисловості. Трубчасті теплообмінники мають перевагу у здатності працювати за високих температур і тисків, оскільки можуть витримувати значні навантаження.

Конструкційні особливості теплообмінників визначають не лише їх

ефективність, а й довговічність та здатність працювати за різних умов. Одним із важливих факторів є матеріал, з якого виготовлений теплообмінник. Він повинен бути стійким до корозії та спрацювання, і, в залежності від умов роботи, витримувати високі температури або вплив агресивних хімічних речовин. Металеві теплообмінники часто виготовляються з нержавійної сталі, міді або алюмінію, які мають високу теплопровідність і здатні працювати в широкому діапазоні температур. У випадках, коли передбачається робота з агресивними середовищами, використовуються спеціальні сплави або матеріали, що забезпечують додатковий захист від корозії та хімічних реакцій.

Ще одним важливим аспектом конструкції теплообмінників є розмір і форма поверхні, яка контактує з теплоносієм. Чим більша площа поверхні, тим ефективніше відбувається теплообмін, оскільки більше тепло передається між середовищами. У цьому контексті конструкція теплообмінника повинна бути оптимальною для конкретних умов роботи: високі температури, сильний тиск, високі вимоги до ефективності теплообміну. Тому правильний вибір типу теплообмінника є критично важливим для забезпечення надійної і ефективної роботи системи.

Важливою характеристикою теплообмінників є їх здатність до самоочищення або можливість забезпечення легкого обслуговування. З часом на поверхні теплообмінника може утворюватися осад, що знижує ефективність передачі тепла. Тому до конструкції теплообмінників часто входить можливість очищення або регенерації, що дозволяє зберігати їх ефективність на довгий час.

Застосування теплообмінників є дуже широким: від систем опалення та кондиціонування в будівлях до великих промислових установок, таких як котельні, нафтопереробні заводи, хімічні заводи, енергетичні станції, а також в автомобільній промисловості для охолодження двигунів. У кожному з цих випадків важливо правильно підібрати тип теплообмінника з урахуванням робочих умов і вимог до ефективності.

Отже, теплообмінники є важливими елементами багатьох систем, які забезпечують ефективну передачу тепла між різними середовищами.

Правильний вибір і конструкція теплообмінника є основою для ефективної роботи таких систем, що дозволяє забезпечити енергоефективність, надійність і довговічність обладнання.

Питання для самоконтролю

1. Який основний принцип роботи теплообмінників та чим він відрізняється від інших механізмів теплопередачі?
2. В чому полягає різниця між змійовиками, пластинчастими та трубчастими теплообмінниками? У яких випадках кожен з цих типів є найефективнішим?
3. Які матеріали найчастіше використовуються для виготовлення теплообмінників і чому вони є оптимальними для цих пристроїв?
4. Як конструкція поверхні теплообмінника впливає на ефективність теплообміну?
5. Які фактори потрібно враховувати під час вибору типу теплообмінника для промислових установок чи побутових систем?

Лекція 11 Теплопередача в багатошарових матеріалах: теоретичні основи та моделювання

Теплопередача в багатошарових матеріалах є важливим аспектом у вивченні термодинамічних процесів, оскільки такий тип матеріалів зустрічається в численних інженерних та наукових застосуваннях. Багатошарові матеріали часто використовуються в будівництві, теплоізоляції, а також у різних промислових процесах, де необхідна ефективна передача або ізоляція тепла. Цей процес набагато складніший за звичайну теплопередачу в однорідних матеріалах, оскільки кожен шар може мати свої властивості, які по-різному впливають на розподіл тепла через матеріал.

Основою теплопередачі в багатошарових матеріалах є принцип, за яким тепло передається від одного шару до іншого через контакт між молекулами та частинами матеріалу. Кожен шар має свої специфічні характеристики, такі як

теплопровідність, щільність, теплоємність, а також товщина. Важливим моментом є те, що теплопередача в таких матеріалах відбувається не тільки через теплопровідність, а й через процеси конвекції та радіації в межах або між шарами, що додатково ускладнює моделювання та аналіз.

Теоретичні основи теплопередачі в багатошарових матеріалах ґрунтуються на законах теплопередачі, які описують, як тепло рухається через різні шари. Оскільки кожен шар має свою теплопровідність і здатність накопичувати тепло, процес передачі тепла через такі матеріали є складним та взаємопов'язаним. Найважливішими факторами, які впливають на теплопередачу в багатошарових структурах, є температура на кожному шарі, товщина матеріалу та властивості окремих матеріалів, що утворюють шари.

Під час розгляду багатошарових матеріалів важливо враховувати, що тепло передається не лише через безпосередній контакт між шарами, але й через наявність повітряних проміжків, які можуть значно зменшувати ефективність теплопередачі. Однак навіть в таких випадках передача тепла все одно відбувається, оскільки мікроскопічні коливання молекул чи атомів можуть переносити енергію від одного шару до іншого. Врахування цього моменту є важливим для точного моделювання теплопередачі в багатошарових матеріалах.

Моделювання теплопередачі в багатошарових матеріалах є складним завданням, оскільки потрібно враховувати як теплопровідність окремих шарів, так і взаємодії між ними. Одним із підходів до моделювання є використання диференціальних рівнянь, які описують теплові потоки через кожен шар і взаємодії між шарами. Залежно від умов та вимог, ці рівняння можуть бути спрощені або ж для їх вирішення використовуються чисельні методи. Зокрема такі методи, як кінцеві елементи або методи різниць, можуть допомогти врахувати всі фактори, які впливають на процес теплопередачі, і отримати більш точні результати.

У разі чисельного моделювання важливо також враховувати геометричні особливості багатошарових структур. Наприклад, у разі багатошарових плит чи панелей можуть бути різні варіанти розташування шарів, їх товщина, а також

наявність тріщин або шпар, що змінює теплообмін між шарами. Всі ці фактори впливають на результати моделювання і повинні бути ретельно оцінені для досягнення точних і практичних результатів.

Крім того, до важливих аспектів моделювання теплопередачі в багатошарових матеріалах належить врахування динамічних змін температури. Теплообмін у таких матеріалах не є статичним процесом, оскільки температура на кожному шарі може змінюватися з часом. Це особливо важливо для матеріалів, які використовуються в умовах змінних температур або в процесах, де тепло генерується або виділяється з плином часу. Моделювання в такому випадку повинно враховувати ці зміни і дозволяти прогнозувати теплові коливання та можливі стани рівноваги.

З практичної точки зору, теплопередача в багатошарових матеріалах є ключовим аспектом у проєктуванні теплоізоляційних матеріалів, вікон, фасадів будівель та інших конструкцій. У таких випадках правильно розрахована теплопередача дозволяє зменшити енергетичні витрати на опалення або охолодження, підвищити комфорт всередині будівлі та зменшити викиди парникових газів. Багатошарові матеріали також використовуються в таких галузях, як аерокосмічна промисловість, де необхідна ізоляція за екстремальних температур.

Також варто зазначити, що розробка нових багатошарових матеріалів, які мають поліпшену теплопередачу, є важливим напрямком в сучасних дослідженнях. Такі матеріали можуть містити комбінацію різних типів волокон, полімерів або металів, що дозволяє досягти кращих характеристик теплоізоляції зі збереженням високої міцності та стійкості до механічних пошкоджень.

Отже, теплопередача в багатошарових матеріалах є складним процесом, що містить безліч факторів, які впливають на ефективність теплообміну. Моделювання цього процесу дозволяє точніше прогнозувати поведінку таких матеріалів, а також розробляти нові, більш ефективні конструкції для різних технічних і промислових застосувань. Важливість цих досліджень полягає не лише в поліпшенні енергоефективності, а й у підвищенні якості та комфорту

життя в умовах змінного клімату та постійного зростання енергетичних потреб.

Питання для самоконтролю

1. Які основні фактори впливають на теплопередачу через багат шарові матеріали?
2. Чому теплопередача в багат шарових матеріалах є складнішою порівняно з передачею в однорідних матеріалах?
3. Які методи моделювання теплопередачі використовуються для багат шарових матеріалів і які з них найбільш ефективні?
4. Як геометричні особливості багат шарових матеріалів (товщина шарів, їх розташування) впливають на теплопередачу?
5. Як зміни температури з часом можуть вплинути на процес теплопередачі в багат шарових матеріалах?

Лекція 12 Основи масопередачі в будівельних матеріалах: теоретичні принципи і процеси перенесення

Масопередача є одним із ключових фізичних процесів, що відбуваються у будівельних матеріалах і конструкціях. Вона впливає на довговічність матеріалів, комфортність приміщень та енергоефективність будівель. До основних механізмів масопередачі в будівництві належать: дифузія, конвекція та капілярний транспорт, кожен з яких відіграє певну роль у русі вологи, газів і забруднюючих речовин у будівельних конструкціях [7].

Одним із найважливіших аспектів масопередачі в будівельних матеріалах є рух вологи. Вологість здатна проникати в матеріали та конструкції, змінюючи їх фізико-механічні властивості, спричиняючи корозію металевих елементів, руйнування бетонних і цегляних конструкцій, а також утворення цвілі. Будівельні матеріали мають різну проникність для вологи залежно від їхньої структури, шпаруватості та складу. Волога може рухатися у вигляді пари або рідини, що визначає характер її взаємодії з матеріалами.

Дифузія відіграє важливу роль у масоперенесенні, коли газоподібні або

рідкі речовини проникають через будівельні матеріали внаслідок різниці концентрацій. Це явище особливо помітне у випадку водяної пари, яка може проходити крізь стіни, перегородки та утеплювачі. Наприклад, у зимовий період волога з теплого внутрішнього повітря може проникати в зовнішні огорожувальні конструкції, конденсуючись у холодних шарах стіни. Це може спричинити накопичення вологи та призвести до зниження теплоізоляційних характеристик матеріалу.

Окрім дифузії, значний вплив на масопередачу має конвекція, яка передбачає рух маси за рахунок потоків повітря або рідини. У вентиляційних системах, фасадних конструкціях та навіть в інженерних спорудах потоки повітря можуть сприяти транспортуванню вологи та забруднювачів, що може як покращувати, так і погіршувати експлуатаційні характеристики будівель. Неврахування цих процесів у проєктуванні може призводити до втрат тепла, накопичення конденсату та руйнування матеріалів.

Капілярний транспорт є ще одним важливим механізмом масопередачі в будівельних матеріалах. Він виникає, коли рідина рухається дрібними шпарами матеріалу внаслідок капілярних сил. Це явище спостерігається, наприклад, у цегляних та бетонних конструкціях, які можуть всотувати воду із ґрунту або зовнішнього середовища. Волога піднімається через капіляри, що може призвести до пошкодження матеріалу через розширення солей під час випаровування або через вплив на теплоізоляційні характеристики стін.

Для того щоб зменшити негативний вплив масопередачі на будівельні конструкції, використовують спеціальні захисні покриття, гідроізоляційні матеріали та вентиляційні рішення. Ефективне управління процесами масопередачі забезпечує довговічність конструкцій, знижує експлуатаційні витрати та покращує комфорт у приміщеннях.

Отже, масопередача є невід'ємною частиною процесів, що відбуваються у будівельних матеріалах та конструкціях. Розуміння її основних механізмів дозволяє оптимізувати проєктування будівель, підвищити їхню енергоефективність та забезпечити комфортні умови експлуатації.

Питання для самоконтролю

1. Як масопередача впливає на довговічність будівельних матеріалів і конструкцій?
2. У чому полягає роль дифузії у процесах масопередачі в будівельних матеріалах?
3. Яким чином конвекція може впливати на процеси масоперенесення в будівлях?
4. Що таке капілярний транспорт, і як він проявляється у будівельних конструкціях?
5. Які методи використовуються для запобігання небажаним процесам масопередачі в будівництві?

Лекція 13 Масопередача в будівельних конструкціях: вологоперенесення і його вплив на міцність матеріалів

Вологоперенесення у будівельних конструкціях є одним із найважливіших процесів, що визначає довговічність та експлуатаційні характеристики матеріалів. Волога в різних формах проникає в конструкції, змінюючи їхні фізичні властивості, спричиняючи зниження міцності та поступове руйнування. Тому розуміння механізмів вологоперенесення є ключовим для проектування довговічних та енергоефективних будівель.

Вологоперенесення у будівельних матеріалах відбувається різними шляхами. Одна з основних форм перенесення – це рух водяної пари через шпаруваті матеріали. Будь-яка будівельна конструкція містить мікроскопічні шпари, через які волога може мігрувати під дією різниці парціального тиску або температури. В результаті волога з теплого внутрішнього середовища може проникати у зовнішні шари будівлі, що в холодну пору року призводить до конденсації та можливого утворення льоду в товщі матеріалу. Це явище особливо небезпечне, оскільки повторне замерзання та відтавання води викликає мікротріщини в матеріалі, поступово знижуючи його міцність.

Ще одним механізмом вологоперенесення є капілярне підняття води.

Будівельні матеріали, такі як бетон, цегла або газобетон, мають систему капілярних каналів, через які рідина може переміщуватися. Це добре спостерігається в стінах будівель, що контактують із ґрунтом, де волога піднімається з фундаменту по стінових матеріалах, спричиняючи їхнє зволоження. Насичення водою призводить до зменшення теплоізоляційних властивостей конструкції, появи висолів, а також розчинення та кристалізації солей, що додатково руйнує структуру матеріалу.

Окрім цього, волога може потрапляти у будівельні конструкції через атмосферні опади, конденсацію повітряної вологи на внутрішніх поверхнях приміщень та погану вентиляцію. Особливо це стосується приміщень із підвищеною вологістю, таких як ванні кімнати, підвали та технічні приміщення. Брак належного повітрообміну сприяє накопиченню вологи, що може призводити до розвитку грибкових утворень та цвілі, які не лише погіршують стан матеріалів, а й негативно впливають на здоров'я мешканців.

Накопичення вологи в конструкціях має серйозний вплив на їхню міцність і довговічність. Наприклад, бетон у разі насичення водою втрачає свою початкову міцність, а арматура, що знаходиться всередині, починає піддаватися корозії. Це особливо небезпечно у тримальних елементах споруд, таких як колони, плити перекриття та фундаменти. Аналогічно дерев'яні конструкції у разі постійного контакту з вологою починають гнити, що призводить до їх поступового руйнування.

Для запобігання негативним наслідкам вологоперенесення використовують різні технологічні рішення. Одним із найбільш ефективних методів є застосування гідроізоляційних покриттів, які перешкоджають проникненню вологи в матеріали. Також велике значення має правильний вибір матеріалів та їхня обробка спеціальними речовинами, що знижують їхню гігроскопічність. Крім того, важливим фактором є забезпечення якісної вентиляції та теплоізоляції, що допомагає контролювати рівень вологості та уникати конденсації.

Отже, вологоперенесення є невід'ємною частиною експлуатації

будівельних конструкцій, і його вплив на міцність матеріалів має вирішальне значення для довговічності будівель. Глибоке розуміння механізмів вологоперенесення та застосування сучасних технологій у проєктуванні дозволяє значно підвищити надійність та ефективність будівельних об'єктів.

Питання для самоконтролю

1. Які основні механізми вологоперенесення відбуваються у будівельних конструкціях?
2. Як дифузія водяної пари впливає на стан матеріалів та можливість утворення конденсату?
3. Що таке капілярне підняття води, і як воно впливає на експлуатаційні характеристики будівельних матеріалів?
4. Які наслідки для міцності будівельних матеріалів може мати накопичення вологи?
5. Які методи використовуються для запобігання шкідливим ефектам вологоперенесення в будівельних конструкціях?

Лекція 14 Масопередача в умовах будівельних конструкцій: поглинання та виведення забруднювачів

Масопередача в будівельних конструкціях є складним фізичним процесом, що впливає не лише на довговічність матеріалів, а й на якість повітря всередині приміщень. Одним із важливих аспектів цього явища є поглинання та виведення забруднювачів, які можуть надходити як із зовнішнього середовища, так і утворюватися всередині будівель. Ці процеси визначають рівень екологічної безпеки конструкцій і впливають на комфорт проживання та експлуатаційні характеристики будівель.

Будівельні матеріали мають різну здатність до поглинання речовин, що потрапляють у повітря. Одним із основних механізмів є адсорбція газів та парів на поверхні матеріалу. Наприклад, шпаруваті матеріали, такі як бетон, штукатурка чи дерево, можуть накопичувати газоподібні забруднювачі, зокрема

вуглекислий газ, формальдегід та леткі органічні сполуки, що виділяються з меблів, лакофарбових покриттів і будівельних сумішей. Поглинання таких речовин може бути як тимчасовим, так і постійним залежно від властивостей матеріалу та умов експлуатації [8].

Крім того, масоперенесення у будівельних конструкціях пов'язане із поглинанням та накопиченням рідких забруднювачів. Волога, що містить розчинені хімічні речовини, може проникати в шпари матеріалу, змінюючи його фізико-хімічні характеристики. Наприклад, волога з ґрунту, що містить солі та кислотні сполуки, може проникати у фундамент та стіни будівлі, спричиняючи їх поступове руйнування. Випаровування рідини спричиняє кристалізацію розчинених солей, що призводить до появи висолів, розтріскування та втрати міцності матеріалів.

Виведення забруднювачів із будівельних конструкцій є важливим етапом забезпечення екологічної безпеки приміщень. Одним із основних способів видалення накопичених речовин є процес десорбції, тобто поступове повернення поглинутих газів і рідин у навколишнє середовище. На цей процес впливають температура, вологість повітря та рівень вентиляції. Наприклад, у літній період, коли температура повітря зростає, будівельні матеріали можуть активніше виділяти накопичені раніше леткі органічні сполуки, що негативно впливає на якість повітря в приміщенні.

Окремим аспектом є біологічні забруднювачі, зокрема грибки, бактерії та спори плісняви, які можуть осідати у шпаруватих матеріалах і згодом поширюватися у повітрі. Висока вологість, брак належної вентиляції та погана теплоізоляція сприяють їхньому активному розмноженню. Наявність біологічних забруднювачів у будівельних конструкціях не лише шкодить матеріалам, а й створює серйозну загрозу здоров'ю людей, спричиняючи алергічні реакції та захворювання дихальних шляхів.

Контроль та мінімізація поглинання забруднювачів у будівельних конструкціях є важливим завданням для сучасного будівництва. Використання екологічно чистих матеріалів із низькою сорбційною здатністю, застосування

пароізоляційних бар'єрів, обробка поверхонь спеціальними захисними покриттями – усе це допомагає зменшити вплив масоперенесення на якість повітря та довговічність будівель. Також значну роль відіграє правильна вентиляція, яка дозволяє ефективно видаляти забруднюючі речовини, запобігаючи їх накопиченню у приміщеннях.

Отже, масопередача забруднювачів у будівельних конструкціях є складним багатфакторним процесом, що визначає не лише стан матеріалів, а й мікроклімат у приміщеннях. Грамотне проєктування будівель, використання якісних матеріалів та ефективних інженерних рішень дозволяє значно зменшити негативний вплив поглинання та виведення забруднювачів, забезпечуючи комфортні та безпечні умови експлуатації будівель.

Питання для самоконтролю

1. Які основні механізми масопередачі забруднювачів у будівельних конструкціях?
2. Як властивості будівельних матеріалів впливають на їхню здатність поглинати та накопичувати забруднюючі речовини?
3. Які фактори впливають на процес десорбції та виведення забруднювачів із будівельних матеріалів?
4. Як вологість і наявність розчинених речовин у воді можуть спричиняти пошкодження будівельних конструкцій?
5. Які методи використовуються для мінімізації негативного впливу поглинання забруднювачів на експлуатаційні характеристики будівель?

Лекція 15 Масопередача в умовах будівельних конструкцій: поглинання та виведення забруднювачів

Масопередача в системах вентиляції є одним із ключових процесів, що забезпечують належний мікроклімат у будівлях. Вона охоплює рух та обмін повітряних потоків, перенесення вологи, газів і частинок пилу. Ефективність вентиляційних систем безпосередньо впливає на якість повітря в приміщеннях,

рівень комфорту та довговічність будівельних конструкцій.

Роль масопередачі у вентиляційних системах

Основне завдання вентиляції – забезпечення безперервного повітрообміну, що містить видалення забрудненого повітря та подачу свіжого. Під час цього процесу відбувається масоперенесення різних компонентів – кисню, вуглекислого газу, водяної пари, хімічних забруднень та частинок пилу.

У замкнених приміщеннях без належної вентиляції може відбуватися накопичення шкідливих речовин, зокрема летких органічних сполук, продуктів горіння, а також надмірної вологи. Це створює несприятливі умови для перебування людей і сприяє розвитку мікроорганізмів, які можуть руйнувати будівельні матеріали та негативно впливати на здоров'я мешканців.

Перенесення вологи у вентиляційних системах

Одним із ключових аспектів масопередачі в будівельних системах вентиляції є контроль рівня вологості. Вологоперенесення відбувається разом із потоками повітря і може призводити до конденсації води на поверхнях будівельних конструкцій. Це особливо важливо для систем вентиляції у будівлях із підвищеною вологістю, наприклад у басейнах, кухнях, санвузлах та промислових цехах.

Якщо вентиляція працює неефективно, волога може накопичуватися на внутрішніх поверхнях стін і стелі, спричиняючи утворення плісняви, корозію металевих конструкцій і зменшення теплоізоляційних властивостей будівельних матеріалів. Натомість правильна організація повітрообміну дозволяє підтримувати баланс вологовмісту та запобігати утворенню конденсату.

Динаміка повітряних потоків у вентиляційних системах

Рух повітря в системах вентиляції визначає характер масоперенесення. Потоки можуть бути ламінарними або турбулентними, що впливає на ефективність перемішування повітря та розподіл вологості.

У вентиляційних системах важливо враховувати взаємодію різних потоків, оскільки нераціональна організація повітрообміну може спричинити застійні зони, де накопичуються вологість і забруднення. Це спостерігається, наприклад,

у приміщеннях із неправильно розташованими припливними та витяжними отворами.

Ще один важливий аспект – вплив температурного градієнта на рух повітряних потоків. Тепле повітря має нижчу щільність і піднімається вгору, тоді як холодне – опускається вниз. Це явище використовується в природних системах вентиляції, але також може створювати небажані ефекти, наприклад, нерівномірний розподіл температури та вологості.

Вплив вентиляції на будівельні конструкції

Будівельні матеріали активно взаємодіють із навколишнім середовищем, і процеси масоперенесення у вентиляційних системах відіграють значну роль у їхньому збереженні. Надмірне зволоження може призвести до зміни фізико-механічних характеристик матеріалів, спричиняючи їхню деформацію, розтріскування та поступове руйнування.

Неефективна вентиляція також може сприяти накопиченню агресивних газоподібних сполук, які взаємодіють із поверхнями матеріалів і спричиняють їхню деградацію. Наприклад, підвищений вміст діоксиду вуглецю в повітрі може сприяти карбонізації бетону, що впливає на міцність залізобетонних конструкцій.

Для запобігання цим проблемам важливо правильно проєктувати вентиляційні системи, зокрема враховувати особливості повітряного та вологісного режиму будівлі, типи використовуваних матеріалів та експлуатаційні умови.

Сучасні підходи до масоперенесення у вентиляційних системах

На сьогодні широко використовуються інженерні рішення, які підвищують ефективність масоперенесення у вентиляційних системах.

До них належать:

- 1) використання систем із регульованою подачею повітря, що дозволяє адаптувати вентиляцію до змін у рівні вологості та забрудненості;
- 2) застосування рекуператорів, які дозволяють утилізувати теплову енергію витяжного повітря, зменшуючи енерговитрати;

3) впровадження матеріалів із спеціальними покриттями, що зменшують накопичення забруднень та сприяють самоочищенню поверхонь вентиляційних каналів.

Отже, масопередача у вентиляційних системах є комплексним процесом, що впливає на мікроклімат приміщень, стан будівельних конструкцій і комфорт проживання. Грамотне проєктування вентиляційних систем та використання сучасних технологій дозволяє ефективно контролювати процеси перенесення повітря та вологи, забезпечуючи довговічність будівель та здоров'я їхніх користувачів.

Питання для самоконтролю

1. Як масопередача впливає на якість повітря у приміщеннях і стан будівельних конструкцій?
2. Які основні механізми перенесення вологи у вентиляційних системах і як вони впливають на формування мікроклімату?
3. Яким чином динаміка повітряних потоків впливає на ефективність вентиляційних систем у будівлях?
4. Які проблеми можуть виникати через неефективну вентиляцію та як вони впливають на експлуатаційні характеристики будівельних матеріалів?
5. Які сучасні технології використовуються для оптимізації масоперенесення у вентиляційних системах і зменшення енерговитрат?

Лекція 16 Масопередача у теплоізоляційних матеріалах: визначення ефективності та вибір матеріалів для будівель

Масопередача у теплоізоляційних матеріалах є важливим процесом, який впливає на теплозахисні характеристики будівельних конструкцій, довговічність матеріалів та енергоефективність будівель. Вона охоплює рух повітря, водяної пари та інших газоподібних або рідких речовин крізь шпарувату структуру теплоізоляції. Розуміння цих процесів дозволяє правильно вибирати ізоляційні матеріали та ефективно контролювати їхні властивості в реальних експлуатаційних умовах.

Роль масопередачі у теплоізоляції

Теплоізоляційні матеріали виконують подвійне завдання: вони не тільки зменшують теплопровідність конструкцій, але й регулюють рівень вологоперенесення. Якщо волога накопичується в теплоізоляції, її ефективність суттєво знижується, оскільки вода має вищу теплопровідність, ніж повітря. Крім того, надмірне зволоження може спричинити руйнування матеріалів, сприяти розвитку плісняви та грибків, що негативно впливає на довговічність будівлі та здоров'я мешканців.

Процес масопередачі у теплоізоляції відбувається через капілярне всмоктування, дифузію водяної пари та повітрообмін у шпаруватій структурі матеріалів. Залежно від умов експлуатації, ці явища можуть змінюватися, що потребує врахування під час вибору матеріалів і проектуванні конструкцій.

Фактори, що впливають на масопередачу у теплоізоляційних матеріалах

Основними факторами, які визначають масоперенесення у теплоізоляції, є:

1) шпаруватість і структура матеріалу: чим вищий відсоток закритих шпар, тим нижчий рівень масопередачі. Наприклад, екструзійний пінополістирол має мінімальну здатність до поглинання вологи завдяки своїй структурі;

2) гігроскопічність – здатність матеріалу поглинати та утримувати вологу. Деякі матеріали, наприклад мінеральна вата, можуть накопичувати значну кількість води, що впливає на їхні теплоізоляційні властивості;

3) паропроникність визначає, наскільки матеріал дозволяє водяній парі проникати через нього. Високопаропроникні матеріали (наприклад скловата) дозволяють воді випаровуватися, що запобігає накопиченню вологи;

4) температурні та кліматичні умови: в умовах високої вологості та частих змін температури процеси масопередачі активізуються, що потребує особливої уваги до вибору теплоізоляції.

Методи визначення ефективності теплоізоляційних матеріалів

Ефективність теплоізоляційних матеріалів оцінюється комплексно, з урахуванням їхніх властивостей щодо теплопередачі, вологостійкості та довговічності. Для цього застосовують лабораторні випробування та натурні

дослідження, які дозволяють визначити рівень поглинання та відведення вологи, стійкість до циклів заморожування та відтавання, а також зміни теплових характеристик у реальних умовах експлуатації.

Під час вибору матеріалів важливо звертати увагу не тільки на їхню початкову ефективність, але й на здатність зберігати свої характеристики впродовж експлуатаційного періоду. Наприклад, деякі теплоізоляційні матеріали з часом втрачають свої властивості через поступове накопичення вологи або деградацію структури.

Вибір теплоізоляційних матеріалів для будівель

Під час вибору теплоізоляції необхідно враховувати особливості об'єкта, кліматичні умови та вимоги до конструкції. У сучасному будівництві широко використовуються різні види теплоізоляційних матеріалів, зокрема:

1) мінеральна вата – волокнистий матеріал, що добре тримає тепло та має високу паропроникність. Однак він здатний поглинати вологу, що може знижувати його ефективність;

2) пінополістирол – легкий і вологостійкий матеріал із низькою паропроникністю. Використовується в зовнішньому утепленні фасадів і в конструкціях, що контактують із ґрунтом;

3) пінополіуретан – матеріал із високими ізоляційними властивостями, який наноситься методом напілення. Завдяки низькому коефіцієнту поглинання вологи він добре підходить для складних будівельних конструкцій;

4) аерогелі – сучасні наноматеріали, що забезпечують відмінну теплоізоляцію із мінімальною товщиною шару. Вони мають високу стійкість до впливу вологи, але відзначаються високою вартістю.

Кожен із цих матеріалів має свої переваги та недоліки, які необхідно враховувати залежно від конкретних умов застосування.

Захист теплоізоляційних матеріалів від вологи

Оскільки вологопоглинання є одним із основних факторів, що знижують ефективність теплоізоляції, важливо передбачати засоби захисту матеріалів. До них належать:

1) гідроізоляційні покриття – спеціальні мембрани або плівки, що обмежують проникнення вологи в ізоляційний шар;

2) паробар'єри – матеріали, що запобігають дифузії водяної пари в товщину утеплювача, забезпечуючи збереження його властивостей;

3) вентильовані фасади – конструкції, що дозволяють ефективно виводити вологу, запобігаючи її накопиченню у стінових конструкціях.

Завдяки правильному підходу до вибору та монтажу теплоізоляційних матеріалів можна значно підвищити енергоефективність будівель, зменшити витрати на опалення та кондиціонування, а також продовжити термін служби конструкцій.

Масопередача у теплоізоляційних матеріалах відіграє критично важливу роль у забезпеченні енергоефективності будівель. Вибір ізоляції повинен базуватися не лише на її теплозахисних характеристиках, а й на стійкості до вологи, паропроникності та довговічності. Грамотне проектування та застосування сучасних технологій дозволяє мінімізувати негативні наслідки масопередачі та створити комфортний мікроклімат у приміщеннях.

Питання для самоконтролю

1. Як процеси масопередачі впливають на ефективність теплоізоляційних матеріалів?

2. Чому накопичення вологи в теплоізоляційних матеріалах знижує їхню теплоізоляційну здатність?

3. Які фактори визначають рівень масопередачі у теплоізоляційних матеріалах?

4. Які сучасні методи використовуються для оцінки ефективності теплоізоляційних матеріалів у будівництві?

5. Як можна мінімізувати вплив масопередачі на теплоізоляційні матеріали у будівельних конструкціях?

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.2024.10510>, free (date of the application: 05.05.2025). – Header from the screen.
2. Assessing building thermal resilience in response to heatwaves through integrating a social vulnerability lens. Journal of Building Engineering [Electronic resource] / Suman Paneru [and all]. – Electronic text data. – Vol. 98, 1 December 2024. – Regime of access: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2024.111219>, free (date of the application: 05.05.2025). – 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: 05.05.2025). – Header from the screen.
5. Thermal characterization of building walls using an equivalent modeling approach. Energy and Buildings [Electronic resource] / Claudia Guattari [and all]. – Electronic text data. – Vol. 329, 15 February 2025, 115226. – Regime of access: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.115226>, free (date of the application: 05.05.2025). – 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.

Електронне навчальне видання

БУРДА Юрій Олександрович

ТЕРМОДИНАМІКА І ТЕПЛОМАСООБМІН

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(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»)

Відповідальний за випуск *Ю. І. Чайка*

Редактор Б. О. Хільська

Комп'ютерне верстання *Ю. О. Бурда*

План 2025, поз. 235Л

Підп. до друку 09.05.2025. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 2,8.

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.