

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

Ю. О. Бурда

БУДІВЕЛЬНА ТЕПЛОФІЗИКА

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(07)

Бурда Ю. О. Будівельна теплофізика : 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. – 44 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 Фізичні основи теплопередачі та її роль у будівельній теплофізиці.....	5
Питання для самоконтролю.....	7
Лекція 2 Провідність тепла в будівельних матеріалах і конструкціях.....	7
Питання для самоконтролю.....	9
Лекція 3 Конвективний теплообмін у внутрішніх і зовнішніх середовищах будівель.....	10
Питання для самоконтролю.....	11
Лекція 4 Радіаційний теплообмін і його вплив на теплотехнічні характеристики будівель.....	12
Питання для самоконтролю.....	14
Лекція 5 Комплексні процеси теплопередачі у багатошарових огорожувальних конструкціях.....	14
Питання для самоконтролю.....	16
Лекція 6 Методи підвищення енергоефективності будівель через контроль теплопередачі.....	17
Питання для самоконтролю.....	19
Лекція 7 Основи нестационарного теплообміну та його відмінності від стаціонарного процесу.....	19
Питання для самоконтролю.....	21
Лекція 8 Вплив змінних температурних умов на теплотехнічні характеристики будівель.....	22
Питання для самоконтролю.....	24
Лекція 9 Акумуляція та віддавання тепла в огорожувальних конструкціях....	24
Питання для самоконтролю.....	26
Лекція 10 Вплив вологості на процеси нестационарного теплообміну.....	27
Питання для самоконтролю.....	28
Лекція 11 Методи розрахунку та моделювання нестационарного теплообміну в будівництві.....	29
Питання для самоконтролю.....	31
Лекція 12 Основи масообміну в будівельних конструкціях: дифузія та сорбція.....	31
Питання для самоконтролю.....	33

Лекція 13 Вплив повітропроникності матеріалів на вологісний режим будівель.....	34
Питання для самоконтролю.....	35
Лекція 14 Конденсаційні явища в будівельних конструкціях та їх наслідки.....	35
Питання для самоконтролю.....	37
Лекція 15 Вологісний режим будівельних огорожень та способи його регулювання.....	38
Питання для самоконтролю.....	40
Лекція 16 Методи підвищення вологостійкості та довговічності будівельних матеріалів.....	40
Питання для самоконтролю.....	42
Список посилань.....	43

ВСТУП

Будівельна теплофізика є однією з ключових дисциплін, що вивчає теплові процеси в будівельних конструкціях та їхній вплив на енергетичну ефективність будівель. Розуміння принципів теплообміну, вологообміну та енергозбереження дозволяє створювати сучасні будівлі, що відповідають вимогам комфорту, довговічності та мінімального споживання енергоресурсів.

З огляду на сучасні тенденції в будівництві, що спрямовані на скорочення енергоспоживання та зменшення екологічного впливу, особливої важливості набуває дослідження теплофізичних властивостей будівельних матеріалів та конструкцій. Врахування теплопровідності, теплоємності, паропроникності та інших характеристик матеріалів є основою для створення ефективних теплоізоляційних рішень, які сприяють оптимізації мікроклімату приміщень.

Важливим аспектом є також вивчення процесів теплопередачі, включно із теплопровідністю, конвекцією та випромінюванням, а також аналіз нестационарних теплових процесів, які відбуваються в будівлях під впливом змінних кліматичних умов. Особлива увага приділяється дослідженню вологісних процесів у будівельних огороженнях, що дозволяє прогнозувати та запобігати появі конденсату, утворенню грибка та зменшенню теплоізоляційних властивостей матеріалів.

Вивчення будівельної теплофізики дає змогу ефективно вирішувати питання енергоощадності, комфорту та довговічності будівель, що є особливо актуальним у сучасному будівництві. Ця дисципліна забезпечує наукову основу для розробки новітніх технологій термомодернізації та підвищення експлуатаційної ефективності будівельних об'єктів.

Лекція 1 Фізичні основи теплопередачі та її роль у будівельній теплофізиці

Теплопередача є одним з основних процесів, що визначають енергетичну ефективність будівель. Вона описує перенесення теплової енергії між різними тілами або частинами тіла, що мають різну температуру. У будівельній

теплофізиці теплопередача відіграє ключову роль, оскільки вона прямо впливає на енергозбереження, комфортність умов у приміщеннях та довговічність будівельних конструкцій [1].

Основні форми теплопередачі – це теплопровідність, конвекція і радіація. Теплопровідність описує процес перенесення тепла через тверді матеріали, коли температура на різних ділянках матеріалу є неоднаковою. Це відбувається завдяки тепловим коливанням молекул або атомів у матеріалі, що передають енергію сусіднім молекулам. У будівельних конструкціях цей процес важливий для оцінки теплоізоляційних характеристик матеріалів, таких як стіни, вікна, дахи тощо. Ключове значення має коефіцієнт теплопровідності, який визначає швидкість теплопередачі через матеріал. Види теплопередачі наведені нижче на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Види теплопередачі

Конвекція є перенесенням тепла через рух рідин або газів. У будівлях конвекційні процеси відбуваються через рух повітря, що може бути як природним, так і штучним (наприклад, вентиляція). Конвекція дозволяє забезпечити рівномірний розподіл тепла в приміщеннях та зменшує ймовірність утворення холодних зон, які можуть призвести до дискомфорту.

Радіація є процесом перенесення енергії у вигляді електромагнітних хвиль. В будівельній теплофізиці цей процес важливий, зокрема для оцінки теплообміну через вікна та стіни, а також для визначення ефективності обігрівачів, що використовують інфрачервоні промені для нагріву.

Процес теплопередачі в будівельних конструкціях, особливо в огорожувальних елементах (стіни, дахи, вікна), безпосередньо впливає на енерговитрати будівель. Якість теплоізоляції конструкцій визначає, скільки тепла втрачається через огорожувальні елементи, і це є важливим чинником в енергетичній ефективності будівель. Зменшення теплових втрат, наприклад, через стіни або вікна, забезпечує не тільки економію енергії, але й покращує умови для проживання або роботи в приміщенні.

Одним з основних завдань будівельної теплофізики є створення конструкцій, які забезпечують мінімальні теплові втрати за максимального збереження тепла в будівлі. Для цього застосовуються різні методи, зокрема використання багат шарових конструкцій, теплоізоляційних матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності, а також технології рекуперації тепла. Врахування фізичних основ теплопередачі дозволяє розробляти енергоефективні рішення для зменшення споживання енергії на опалення та кондиціювання.

Питання для самоконтролю

1. Які основні форми теплопередачі існують і як вони проявляються в будівельній теплофізиці?
2. Як теплопровідність матеріалів впливає на енергоефективність будівель?
3. У чому полягає різниця між теплопередачею за допомогою конвекції і теплопровідністю?
4. Як радіаційний теплообмін впливає на енергозбереження в будівлях?
5. Які методи використовуються для скорочення теплових втрат через будівельні конструкції?

Лекція 2 Провідність тепла в будівельних матеріалах і конструкціях

Теплопровідність є важливим параметром для оцінки ефективності теплоізоляційних властивостей будівельних матеріалів і конструкцій. Це фізичний процес передачі теплової енергії через матеріал, що визначається

різницею температур між його частинами. У контексті будівельної теплофізики теплопровідність матеріалів безпосередньо впливає на тепловий режим будівлі, комфорт у приміщеннях і енерговитрати на опалення або охолодження.

Теплопровідність матеріалів залежить від багатьох факторів, серед яких найбільший вплив мають температура, структура матеріалу, його вологість та наявність шпар. Наприклад, сухі матеріали зазвичай мають меншу теплопровідність, ніж матеріали з високим вмістом води, оскільки вода є хорошим провідником тепла. Важливою характеристикою є коефіцієнт теплопровідності, який визначає кількість тепла, що проходить через одиницю площі матеріалу із одиничною різницею температур на його поверхнях.

В будівництві використовуються різноманітні матеріали, кожен з яких має свою теплопровідність. Матеріали з високою теплопровідністю, такі як метали, бетон і камінь, здебільшого використовуються в тих конструкціях, де теплоізоляція не є основним завданням, наприклад, для фундаментів або підлог. Натомість для стін, покрівлі та віконних конструкцій застосовуються матеріали з низькою теплопровідністю, такі як пінопласт, мінеральна вата, пінополістирол, полістиролбетон тощо.

Теплопровідність в будівельних конструкціях визначає, скільки тепла буде втрачено через стіни, дахи, підлоги, вікна та інші огорожувальні елементи будівель. У будівництві використання матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності дозволяє зменшити теплові втрати, що веде до економії енергії для опалення чи охолодження приміщень. Завдяки застосуванню теплоізоляційних матеріалів досягається не лише скорочення витрат енергії, але й підвищення рівня комфорту в будівлях.

Конструкції, що використовують різні матеріали з низькою теплопровідністю, також мають додаткові переваги. Наприклад, вони дозволяють зберігати оптимальну температуру в приміщеннях за будь-яких зовнішніх погодних умов, зменшуючи необхідність у постійному обігріві чи охолодженні. Важливо, що на теплопровідність матеріалу можуть впливати додаткові фактори, такі як товщина шару матеріалу, його щільність та наявність

шпаруватих структур, що також варто враховувати під час проектування та будівництва.

Для зменшення теплопередачі в будівельних конструкціях використовуються багатошарові системи, що містять теплоізоляційні матеріали з низьким коефіцієнтом теплопровідності. Важливо також враховувати вікна та двері як частину конструкції, оскільки ці елементи можуть стати основними зонами теплових втрат у будівлі, особливо якщо вони виготовлені з матеріалів з високою теплопровідністю. У сучасному будівництві застосовуються спеціальні енергозберігаючі технології, зокрема енергоефективні вікна, що мають багатошарове скло з інертними газами між шарами; це значно зменшує теплопровідність конструкцій.

Оцінка теплопровідності матеріалів є важливим етапом в проектуванні та будівництві енергоефективних будівель. Ретельний вибір матеріалів з оптимальними теплотехнічними властивостями дозволяє не тільки зменшити теплові втрати, але й підвищити довговічність будівельних конструкцій, забезпечити комфорт у приміщеннях і сприяти збереженню навколишнього середовища.

Питання для самоконтролю

1. Як визначається теплопровідність будівельних матеріалів і які фактори на неї впливають?
2. Які матеріали зазвичай використовуються для теплоізоляції будівель, і чому вони мають низьку теплопровідність?
3. Як теплопровідність впливає на енергоефективність будівельних конструкцій?
4. Які методи застосовуються для зменшення теплових втрат у будівлях?
5. Як багатошарові конструкції впливають на теплопередачу в будівельних матеріалах?

Лекція 3 Конвективний теплообмін у внутрішніх і зовнішніх середовищах будівель

Конвективний теплообмін є одним із основних механізмів передачі тепла в різних середовищах, зокрема в будівлях. Цей процес містить перенесення тепла в рідинах або газах завдяки їхньому руху, що забезпечує змішування гарячих і холодних потоків. Конвекція може відбуватися як за рахунок природних сил (наприклад, через різницю температур), так і за допомогою механічних пристроїв (наприклад, вентиляторів). У будівельній теплофізиці конвективний теплообмін важливий як у внутрішніх приміщеннях, так і на зовнішніх поверхнях будівель, оскільки він впливає на комфорт умов у приміщеннях та енергоефективність будівель [2].

У внутрішніх середовищах будівель конвективний теплообмін значною мірою визначається природною циркуляцією повітря, яка виникає через різницю температур між різними частинами приміщення. Наприклад, гаряче повітря, яке нагрівається обігрівачами, піднімається вгору, а холодне повітря спадає вниз, створюючи природні потоки. Цей процес є важливим для забезпечення рівномірного температурного режиму в приміщеннях, але він може бути неефективним у випадках значної різниці температур або поганої вентиляції.

Для покращення конвективного теплообміну в приміщеннях використовуються механічні системи вентиляції, які забезпечують активний рух повітря і допомагають рівномірно розподіляти тепло по всьому об'єму кімнати. Така система дозволяє знизити енергетичні витрати, оскільки температура в різних частинах приміщення стає однорідною, і менш потрібно витрачати енергію на підтримку комфортної температури. Системи вентиляції можуть бути природними, примусовими або комбінованими, залежно від потреб і архітектурних особливостей будівлі.

Зовнішні середовища будівель також активно взаємодіють з навколишнім повітрям через конвекційний теплообмін. В умовах зовнішнього середовища конвекція здійснюється за рахунок різниці температур між внутрішніми і зовнішніми частинами конструкції будівлі. Повітря, яке контактує із зовнішніми

поверхнями стін, дахів і вікон, забирає тепло з будівлі і переносить його в навколишнє середовище. Цей процес визначає ефективність теплоізоляції будівель і є важливим фактором для збереження тепла в зимовий період і прохолоди влітку.

Зовнішній конвективний теплообмін також залежить від погодних умов. За високої швидкості вітру або в умовах низької температури зовнішнє повітря може значно забирати тепло з поверхонь будівлі, що сприяє збільшенню теплових втрат. Для зменшення цього ефекту використовуються різноманітні теплоізоляційні матеріали та конструкції, які зменшують конвективний теплообмін між зовнішнім середовищем і внутрішніми приміщеннями.

Інші фактори, такі як тип і стан зовнішньої поверхні будівель, також можуть впливати на конвективний теплообмін. Наприклад, шорсткість або гладкість поверхонь матеріалів визначає, як ефективно тепло передається від стін до повітря, що оточує будівлю. Для мінімізації теплових втрат застосовуються спеціальні покриття, які покращують теплоізоляційні властивості та зменшують теплопередачу через конвекцію.

Оцінка конвективного теплообміну в будівлях є важливим етапом для розробки ефективних систем вентиляції та кондиціонування повітря, а також для забезпечення енергоефективності будівель. Правильне проєктування та використання теплоізоляційних матеріалів, а також належна організація вентиляції допомагають мінімізувати енергетичні втрати і забезпечують комфортні умови для перебування в будівлях, зменшуючи потребу в додаткових витратах на опалення чи охолодження.

Питання для самоконтролю

1. Як природна конвекція впливає на температурний режим в приміщеннях?
2. Які фактори визначають ефективність конвективного теплообміну в будівлях?

3. Чому важливо використовувати системи вентиляції для покращення конвективного теплообміну в будівлях?

4. Як погодні умови можуть вплинути на зовнішній конвективний теплообмін?

5. Яким чином теплоізоляційні матеріали впливають на конвективний теплообмін і теплові втрати?

Лекція 4 Радіаційний теплообмін і його вплив на теплотехнічні характеристики будівель

Радіаційний теплообмін є важливим механізмом передачі тепла в умовах будівельної теплофізики. Цей процес полягає в передачі енергії через електромагнітні хвилі, здебільшого в інфрачервоній частині спектра. На відміну від конвекції або провідності, радіаційний теплообмін не потребує середовища, що здійснює перенесення тепла, оскільки енергія може передаватися у вакуумі. Для будівель це означає, що тепло може передаватися від теплих поверхонь (наприклад, від стін або обігрівачів) до холодних поверхонь без необхідності переміщення повітря або інших середовищ. Це важливий фактор у забезпеченні теплоізоляції будівель і підтриманні комфортних температурних умов.

Радіаційний теплообмін у будівлях має безпосередній вплив на енергетичні витрати та теплотехнічні характеристики конструкцій. Основними елементами, які залучаються до цього процесу, є поверхні конструкцій, вікна, стіни, покрівлі та підлоги. Тепло може випромінюватися з гарячих поверхонь і поглинатися холодними поверхнями, що викликає зміни температурного режиму всередині приміщень. Цей процес є важливим у контексті забезпечення енергоефективності будівель, оскільки правильне планування та використання матеріалів, що мають оптимальні радіаційні властивості, дозволяє зменшити теплові втрати і знизити витрати енергії на обігрів чи охолодження приміщень.

Радіаційний теплообмін у будівлях може бути як корисним, так і шкідливим. З одного боку, використання радіаційних обігрівачів або систем, що сприяють розподілу тепла через випромінювання, може бути ефективним

способом забезпечення рівномірного прогріву приміщень. Такі системи, як інфрачервоні обігрівачі або сонячні колектори використовують принцип радіаційного теплообміну для обігріву приміщень, зменшуючи залежність від традиційних систем опалення та скорочуючи енергетичні витрати [3].

З іншого боку, радіаційний теплообмін може призвести до значних теплових втрат, якщо будівля не має належної теплоізоляції або якщо її конструкції мають високі коефіцієнти радіаційного поглинання. Наприклад, великі вікна без захисних покриттів можуть спричиняти значні теплові втрати в зимовий період через випромінювання тепла з внутрішніх приміщень до холодної зовнішньої атмосфери. Таким чином, один із важливих аспектів будівельної теплофізики полягає в оптимальному виборі матеріалів для стін, вікон, покрівель та підлог, що забезпечують необхідний рівень теплоізоляції і мінімізують втрати тепла через радіаційний обмін.

Вибір матеріалів, що мають відповідні радіаційні характеристики, є одним із способів зменшення впливу радіаційного теплообміну. Наприклад, поверхні з високим коефіцієнтом радіаційного відображення, такі як спеціальні покриття для вікон або зовнішніх стін, дозволяють зменшити випромінювання тепла і мінімізувати втрати енергії. Такі покриття можуть сприяти значному скороченню теплових втрат взимку, а також зменшувати ефект перегріву влітку, що підвищує енергоефективність будівлі.

Крім того, радіаційний теплообмін відіграє важливу роль у процесах, пов'язаних із кондиціонуванням повітря. У літній період, коли температура навколишнього середовища перевищує температуру в приміщенні, можливі перепади температур між внутрішніми і зовнішніми поверхнями конструкцій. Це може призвести до того, що тепло, яке накопичується в приміщеннях, буде випромінюватися в навколишнє середовище. Водночас влітку важливо уникати перегріву будівлі через радіаційний обмін, тому застосування спеціальних відбиваючих матеріалів або екранувальних покриттів на вікна може зменшити потребу в кондиціонуванні повітря.

Отже, радіаційний теплообмін є ключовим фактором для забезпечення енергоефективності будівель. Правильне розуміння цього процесу і його впливу на теплотехнічні характеристики будівель дозволяє розробляти ефективні системи опалення, охолодження та теплоізоляції, що мінімізують теплові втрати і скорочують енергетичні витрати.

Питання для самоконтролю

1. Як радіаційний теплообмін відрізняється від конвективного та провідного теплообміну?
2. Яким чином радіаційний теплообмін впливає на енергоефективність будівель?
3. Як матеріали з різними коефіцієнтами радіаційного поглинання і відбиття можуть змінювати теплотехнічні характеристики будівель?
4. Які методи використовуються для скорочення теплових втрат через радіаційний теплообмін?
5. Як радіаційний теплообмін може бути корисним для обігріву або охолодження приміщень?

Лекція 5 Комплексні процеси теплопередачі у багатошарових огорожувальних конструкціях

Процеси теплопередачі в багатошарових огорожувальних конструкціях є однією з ключових складових будівельної теплофізики. Ці конструкції складаються з кількох шарів різних матеріалів, кожен з яких має свої теплотехнічні властивості, що впливають на загальний тепловий режим будівлі. Теплопередача в таких конструкціях є комплексним процесом, оскільки вона містить одночасно кілька механізмів теплопередачі: теплопровідність, конвекцію та радіацію, а також взаємодію між ними.

Кожен з матеріалів, що входять до складу багатошарової конструкції, має певний коефіцієнт теплопровідності. Теплопередача через кожен шар здійснюється шляхом безпосереднього контакту молекул, що спричиняє

поступове перенесення тепла від більш нагрітого шару до менш нагрітого. Однак у багатошарових конструкціях важливо враховувати не тільки теплопровідність, але й здатність матеріалу утримувати тепло. Наприклад, утеплювачі, що використовуються в таких конструкціях, мають низьку теплопровідність, що дозволяє зменшити втрати тепла через стіни, дахи чи підлоги.

Окрім теплопровідності, значну роль у процесах теплопередачі в багатошарових конструкціях відіграють конвективні та радіаційні процеси. Конвекція існує у повітряному просторі між шарами матеріалів, особливо в випадках, коли між шарами є шпари або проміжок, заповнений повітрям. Тепло передається через ці простори завдяки руху повітря, яке бере участь у процесі теплообміну. Крім того, радіаційний теплообмін відбувається між поверхнями різних матеріалів, особливо коли один з них нагрівається, випромінюючи енергію, яка може поглинатися іншими шарами конструкції.

Особливо важливим є визначення загальної теплотехнічної ефективності багатошарової огорожувальної конструкції. Для цього необхідно враховувати не тільки теплопровідність матеріалів, але й їх товщину, а також те, як шари матеріалів впливають на тепловий потік. Для кожного матеріалу в конструкції можна розрахувати його тепловий опір, який вказує на здатність матеріалу протистояти теплопередачі. Зазвичай чим більший тепловий опір матеріалу, тим краще він ізолює будівлю від втрат тепла.

Крім того, на теплопередачу в багатошарових конструкціях впливає температура навколишнього середовища, температура всередині приміщень та умови вологості. Зміни температури і вологості можуть суттєво змінити теплотехнічні характеристики матеріалів, особливо в умовах перепадів температур. Наприклад, вологість матеріалів здатна змінювати їх теплоізоляційні властивості, оскільки вода має велику теплоємність, що дозволяє їй поглинати і вивільняти велику кількість тепла.

Одним з основних завдань під час проектування багатошарових огорожувальних конструкцій є оптимізація розподілу температури через всю конструкцію. Це дозволяє забезпечити рівномірний температурний режим

всередині приміщень і мінімізувати теплові втрати через огорожувальні елементи будівлі. Особливу увагу потрібно приділяти вибору матеріалів для утеплення, оскільки їх властивості визначають не тільки рівень теплоізоляції, але й довговічність конструкції [4].

Важливо зазначити, що зменшення теплових втрат через багат шарові конструкції є основним напрямом у забезпеченні енергоефективності будівель. Завдяки використанню новітніх матеріалів і технологій можна досягти значного скорочення витрат енергії на опалення та кондиціювання, що є важливим аспектом у контексті зменшення енергетичних витрат і боротьби з глобальними змінами клімату.

Отже, комплексні процеси теплопередачі у багат шарових огорожувальних конструкціях є важливою частиною забезпечення теплоізоляції і енергоефективності будівель. Розуміння цих процесів дозволяє оптимізувати теплотехнічні характеристики будівель і створювати комфортні умови для перебування в них.

Питання для самоконтролю

1. Які основні механізми теплопередачі можна спостерігати в багат шарових огорожувальних конструкціях?
2. Як конвекція впливає на теплопередачу через багат шарові конструкції?
3. Які фактори впливають на теплопередачу в багат шарових конструкціях?
4. Як визначити теплотехнічну ефективність багат шарової огорожувальної конструкції?
5. Яку роль відіграє вологість у процесах теплопередачі в багат шарових матеріалах?

Лекція 6 Методи підвищення енергоефективності будівель через контроль теплопередачі

Енергоефективність будівель є важливою складовою сучасного будівництва, оскільки вона сприяє скороченню витрат енергії, підвищенню комфорту для мешканців та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Одним із головних аспектів забезпечення енергоефективності є контроль теплопередачі, оскільки значна частина енергії втрачається через зовнішні огорожувальні конструкції будівель, такі як стіни, дахи, вікна та підлоги.

Основною метою контролю теплопередачі є мінімізація теплових втрат і забезпечення стабільного температурного режиму всередині будівлі за оптимальних витрат енергії. Для цього застосовуються різноманітні методи, які містять не тільки вибір та правильне застосування матеріалів з високими теплоізоляційними властивостями, але й використання технологій та інженерних рішень для максимального скорочення енергетичних витрат.

Один із основних методів підвищення енергоефективності – це застосування матеріалів з низькою теплопровідністю. Ізоляційні матеріали, такі як мінеральна вата, пінополістирол, пінопласт та інші, мають здатність зменшувати теплопередачу через зовнішні стіни, дахи та підлоги будівлі. Правильний вибір таких матеріалів допомагає значно зменшити втрати тепла через огорожувальні конструкції.

Особливу увагу потрібно приділяти конструкціям з багатошаровими матеріалами. Це дозволяє комбінувати матеріали з різними теплоізоляційними властивостями, що дає змогу досягти кращих результатів порівняно з використанням одного матеріалу. До багатошарових конструкцій належать, наприклад, утеплювачі з пінополістиролу, а також додаткові шари з матеріалів, які мають не тільки хороші теплоізоляційні властивості, але й здатність до збереження тепла, такі як спеціальні плівки або мембрани.

Іншою важливою складовою методу підвищення енергоефективності є застосування теплоізоляційних покриттів для зменшення теплових втрат через

зовнішні поверхні будівель. Це можуть бути спеціальні покриття для вікон або фасадів, що зменшують кількість тепла, яке може виходити з будівлі через їх поверхню. Такі покриття здатні також забезпечити ефективний захист від сонячної радіації, що допомагає зменшити витрати енергії на охолодження приміщень влітку.

Іншим важливим аспектом є використання систем автоматизації та контролю теплопередачі. Встановлення системи розумного управління температурою в будівлі дозволяє оптимізувати витрати енергії, включно з автоматичним регулюванням температури в різних зонах будівлі залежно від часу доби, сезону та умов зовнішнього середовища. Системи автоматичного регулювання, такі як термостати та сенсори температури, дозволяють скоротити енергетичні витрати, автоматично коригуючи температуру залежно від потреби.

Зокрема, одним із перспективних методів є використання пасивних сонячних систем, які забезпечують ефективне використання сонячного тепла для опалення будівель. Ці системи містять спеціальні сонячні колектори, що накопичують енергію сонячного випромінювання та передають її до системи опалення, що дає змогу зменшити потребу в додаткових джерелах енергії.

Також важливим методом є утеплення будівельних конструкцій. До нього входить як зовнішнє утеплення, так і утеплення інтер'єрних частин будівель. Застосування сучасних теплоізоляційних матеріалів, таких як пінопласт, мінеральна вата, полістирол, дозволяє зменшити тепловтрати через стіни, підлоги та дахи. Важливою частиною утеплення є правильний вибір товщини матеріалів, оскільки навіть незначні зміни в товщині утеплювача можуть істотно вплинути на загальний ефект теплоізоляції.

Також одним із важливих методів підвищення енергоефективності є ретельний моніторинг та контроль теплопередачі через всі огорожувальні конструкції будівлі. Для цього використовуються спеціальні інструменти та методи, які дозволяють виявляти дефекти утеплення, порушення герметичності вікон, дверей, швів та інших конструктивних елементів. Завдяки таким методам можна оперативно виявляти теплові містки, що дозволяє швидко вжити заходів щодо їх усунення.

Отже, підвищення енергоефективності будівель через контроль теплопередачі є важливим етапом у зменшенні енергетичних витрат і забезпеченні комфортних умов для мешканців. Комплексний підхід, що містить застосування сучасних матеріалів, технологій та систем автоматизації, дозволяє досягти значного скорочення енергоспоживання і зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Питання для самоконтролю

1. Які основні методи підвищення енергоефективності будівель через контроль теплопередачі?
2. Як багатошарові конструкції допомагають скоротити теплові втрати в будівлях?
3. Які переваги має використання теплоізоляційних покриттів для вікон і фасадів?
4. Які системи автоматизації допомагають скорочувати енергетичні витрати в будівлях?
5. Яким чином утеплення будівельних конструкцій сприяє підвищенню енергоефективності?

Лекція 7 Основи нестационарного теплообміну та його відмінності від стаціонарного процесу

Теплообмін є одним із основних процесів у теплотехніці, і розуміння його механізмів є критично важливим для аналізу енергоефективності будівель, систем опалення, вентиляції, кондиціонування та інших інженерних систем. Процеси теплообміну можуть відбуватися як в стаціонарному, так і в нестационарному режимі. Кожен з них має свої особливості, що визначають спосіб передачі тепла між тілами або середовищами.

Стаціонарний теплообмін відбувається в умовах, коли температура в системі не змінюється з часом. В такому випадку можна припустити, що в кожній точці об'єкта (наприклад, у стіні чи трубопроводі) температура залишається

сталою, і процес теплообміну встановлюється на постійному рівні. У стаціонарному режимі не спостерігаються зміни температури в часі, і весь тепловий потік розподіляється рівномірно, що дозволяє застосовувати прості математичні моделі для аналізу такого процесу.

Нестаціонарний теплообмін, або теплопередача в змінних умовах, відрізняється тим, що температура в системі змінюється з часом. Це може стосуватися ситуацій, коли нагрітий або охолоджений об'єкт взаємодіє з навколишнім середовищем, і внаслідок цього виникають зміни температури в об'єкті або в його зовнішньому середовищі. Процес нестаціонарного теплообміну містить як просторові, так і тимчасові зміни температури, і вимагає більш складних математичних моделей для опису цього процесу [5].

Основною особливістю нестаціонарного теплообміну є те, що він визначається не тільки умовами теплових потоків, але й інерційними ефектами, пов'язаними з накопиченням тепла або його віддаванням. У таких випадках важливо враховувати час, протягом якого протікає теплообмін, а також матеріальні характеристики об'єктів (наприклад, теплоємність і теплопровідність).

Важливою відмінністю між стаціонарним і нестаціонарним теплообміном є часова залежність процесу. У стаціонарному теплообміні температура не змінюється з часом, і можна використовувати спрощені моделі для розрахунків. У нестаціонарному режимі температура змінюється, і для розрахунку теплових потоків необхідно враховувати зміну температури в часі. Це робить моделювання та прогнозування процесів нестаціонарного теплообміну більш складними та вимогливими до точності даних.

Процес нестаціонарного теплообміну відбувається, наприклад, під час різкого нагрівання чи охолодження поверхонь, змін температури в будівельних конструкціях у разі сезонних коливань, а також у випадках, коли зовнішні умови (температура, швидкість руху повітря) змінюються з часом. Ці процеси важливо враховувати під час проєктування енергоефективних будівель, де зміни температури можуть впливати на комфорт і економічність енергоспоживання.

Один з прикладів нестационарного теплообміну можна спостерігати в процесах охолодження або нагрівання теплоносіїв в системах опалення чи вентиляції. Якщо система була довгий час неактивною, а потім раптово вмикається, спостерігаються зміни температури теплоносія, що характеризують нестационарний теплообмін.

Також важливими є ситуації, коли стіни будівель зазнають сезонних коливань температури. Влітку температура зовнішніх конструкцій може значно змінюватися, в той час як внутрішнє середовище потребує стабільного температурного режиму. Це створює умови для нестационарного теплообміну між внутрішніми та зовнішніми частинами будівлі.

У контексті проєктування будівель і створення енергоефективних інженерних систем важливо враховувати як стаціонарні, так і нестационарні процеси теплообміну. Це дозволяє ефективно застосовувати методи скорочення теплових втрат і мінімізації енергоспоживання, а також забезпечувати комфортні умови для людей в будівлях.

Отже, розуміння різниці між стаціонарним і нестационарним теплообміном дозволяє правильно оцінити енергетичну ефективність будівель та інженерних систем, а також вибрати оптимальні технології для їх проєктування та експлуатації.

Питання для самоконтролю

1. Які основні відмінності між стаціонарним і нестационарним теплообміном?
2. Як зміни температури з часом впливають на процес нестационарного теплообміну?
3. У яких випадках можна спостерігати нестационарний теплообмін в будівельних конструкціях?
4. Які матеріальні характеристики об'єкта впливають на нестационарний теплообмін?
5. Яким чином нестационарний теплообмін може впливати на енергетичну ефективність будівель?

Лекція 8 Вплив змінних температурних умов на теплотехнічні характеристики будівель

Зміна температурних умов є одним з найбільш значущих факторів, що впливає на теплотехнічні характеристики будівель. Вона обумовлена як зовнішніми атмосферними чинниками (наприклад, зміною пори року, різкими коливаннями температури, погодними умовами), так і внутрішніми змінами, що виникають внаслідок роботи інженерних систем (опалення, кондиціонування, вентиляції). Ці коливання температури призводять до змін у теплових потоках, які проходять через огорожувальні конструкції, що, зі свого боку, впливає на енергетичну ефективність будівель та рівень комфорту для їхніх мешканців.

Взаємодія між внутрішнім і зовнішнім середовищем будівлі здійснюється через огорожувальні конструкції (стіни, вікна, дахи, підлоги), через які теплотехнічні характеристики будівлі значно змінюються. За різних температурних умов ці конструкції можуть підлягати тепловому навантаженню, що створює різні температурні поля в їхньому об'ємі. Зокрема, якщо зовнішнє середовище охолоджене (наприклад, взимку), тепло передається через стіни, вікна і дахи в напрямку внутрішнього середовища, що потребує додаткових витрат енергії на підтримку температури в будівлі. Улітку, коли температура зовнішнього повітря вища, тепло потрапляє в будівлю і підвищує її температуру, що також вимагає енергії для охолодження.

Циклічні зміни температури призводять до теплових коливань в огорожувальних конструкціях. Це явище особливо виражене в конструкціях, що мають велику теплопровідність, таких як бетонні та металеві стіни. Змінюючи температуру в різний час доби, ці матеріали можуть накопичувати тепло вночі і віддавати його вдень, що змінює енергетичний баланс будівлі.

Також варто зазначити, що термічні інерційні ефекти в будівельних конструкціях значно впливають на теплотехнічні характеристики будівель. Матеріали з високою теплоємністю, наприклад, бетон, можуть довго зберігати тепло і значно сповільнюють процеси його передачі. З іншого боку, матеріали з низькою теплоємністю, наприклад, дерево, швидше реагують на зміни

температури і передають тепло значно швидше. Тому правильний вибір будівельних матеріалів для зовнішніх огорожувальних конструкцій має важливе значення для збереження тепла взимку та прохолоди влітку.

В умовах змінних температур також необхідно враховувати теплові втрати через недосконалість конструкцій (щілини, тріщини, нерівності в муруванні), через які відбувається не тільки передача тепла, але й рух повітря, що також може спричиняти додаткові втрати енергії. Змінність температури з часом створює умови для утворення конденсату в місцях, де температура поверхонь знижується до точки роси, що може призвести до пошкодження матеріалів і появи проблем з вогкостями та пліснявою. Тому ефективність теплоізоляції є одним з ключових факторів у запобіганні таких негативних явищ [6].

Зміни температури в зовнішньому середовищі також можуть викликати коливання в роботі інженерних систем будівель. Наприклад, в зимовий період, коли температура знижується, зростає навантаження на системи опалення, що вимагає більшого споживання енергії. У літній період, коли температура підвищується, необхідно забезпечити охолодження приміщень, що також потребує додаткових витрат енергії для кондиціонування повітря. Тому інженерні системи будівель повинні бути спроектовані з урахуванням змінних температурних умов і здатності до адаптації до цих коливань.

Зміна температури також впливає на термічну поведінку вікон і дверей. Протікання тепла через неякісно встановлені або погано ізольовані віконні системи може призвести до великих теплових втрат. У періоди різких змін температури можуть виникати короткочасні, але значні теплові потоки, що безпосередньо впливають на внутрішній клімат.

Зміна температурних умов має важливе значення для енергоефективності будівель. Врахування цих факторів дозволяє зменшити тепловтрати, підвищити комфорт у приміщеннях та скоротити витрати на енергоспоживання. Важливим аспектом є використання матеріалів із високими теплоізоляційними властивостями та проектування інженерних систем, які здатні ефективно реагувати на зміну зовнішніх умов, скорочуючи витрати енергії.

Питання для самоконтролю

1. Як зміна зовнішніх температурних умов впливає на теплотехнічні характеристики будівель?
2. Яка роль термічних інерційних ефектів у змінних температурних умовах?
3. Як зміна температури повітря впливає на енергетичний баланс будівлі?
4. Яким чином змінні температурні умови впливають на роботу інженерних систем будівель?
5. Які наслідки можуть бути у разі неякісної теплоізоляції в умовах різких змін температур?

Лекція 9 Акумуляція та віддавання тепла в огорожувальних конструкціях

Акумуляція та віддавання тепла є важливими процесами, що визначають теплотехнічні характеристики будівель, особливо в контексті огорожувальних конструкцій. Огорожувальні конструкції будівель – це елементи, що відокремлюють внутрішнє середовище приміщень від зовнішнього. До них належать стіни, дахи, підлоги, вікна та двері, і вони є основними елементами, через які здійснюється теплообмін між внутрішнім простором і навколишнім середовищем. Процеси акумулювання та віддавання тепла через ці конструкції суттєво впливають на енергетичний баланс будівель та комфорт мешканців.

Акумуляція тепла в огорожувальних конструкціях відбувається завдяки теплоємності матеріалів, з яких вони складаються. Теплоємність визначається здатністю матеріалу поглинати тепло зі зміною температури. Оскільки матеріали будівельних конструкцій, такі як бетон, цегла чи камінь, мають велику теплоємність, вони можуть накопичувати значну кількість тепла в періоди підвищення температури навколишнього середовища, наприклад, влітку або вдень. Відповідно, коли температура зовнішнього середовища знижується (вночі або взимку), ці матеріали поступово віддають накопичене тепло в середовище

приміщення, підтримуючи стабільний температурний режим у будівлі.

З цією властивістю акумуляції тепла пов'язані два основні фактори: теплоємність і теплопровідність матеріалів. Теплоємність матеріалу визначає, скільки тепла він може накопичити за певного підвищення температури. Теплопровідність, зі свого боку, визначає, як швидко це тепло передається через матеріал. Висока теплоємність забезпечує довготривале накопичення тепла, тоді як висока теплопровідність сприяє швидкій передачі тепла через матеріал.

Процес віддавання тепла відбувається, коли температура матеріалу конструкції стає вищою, ніж температура навколишнього середовища або внутрішнього простору. Тепло віддається через теплопровідність, конвекцію та випромінювання. Внутрішня температура приміщення може змінюватися залежно від рівня теплових втрат або нагріву конструкцій. Віддавання тепла відбувається протягом декількох годин або днів залежно від теплотехнічних властивостей матеріалу та температурних коливань зовнішнього середовища.

Важливим аспектом акумуляції і віддавання тепла є термічна інерція матеріалів. Матеріали з високою теплоємністю здатні повільно накопичувати тепло і, у такий спосіб, довго віддають його, зберігаючи стабільну температуру в приміщенні. Це дуже важливо в умовах, коли температура навколишнього середовища змінюється протягом доби, а будівля повинна залишатися теплою взимку та прохолодною влітку. Тому матеріали з високою теплоємністю можуть використовуватися для підвищення енергоефективності будівель, зменшуючи потребу в додатковому опаленні або охолодженні [7].

З іншого боку, конструкції, що мають низьку теплоємність, здатні швидко реагувати на зміни температури навколишнього середовища. Це може бути корисно в певних випадках, коли потрібно швидко охолодити або нагріти приміщення. Однак таке швидке реагування часто призводить до великої потреби в енергії для підтримання температури, оскільки матеріали не здатні зберігати тепло.

Важливу роль у процесах акумуляції і віддаванні тепла відіграють поверхневі покриття та ізоляційні матеріали. Наприклад, нанесення

теплоізоляційних матеріалів на зовнішні поверхні конструкцій допомагає зменшити тепловтрати, а використання спеціальних відбиваючих покриттів може зменшити кількість тепла, що поглинається матеріалами стін, даху чи вікон. Ці заходи допомагають зберегти тепло в холодний період та зменшити вплив сонячного випромінювання в літній період.

Вплив акумуляції і віддавання тепла на енергетичну ефективність будівель є критичним. Оскільки процеси акумуляції дозволяють зберігати тепло протягом певного часу, вони можуть допомогти зменшити навантаження на систему опалення в зимовий період, а влітку зменшити потребу в кондиціонуванні повітря. Огороджувальні конструкції, що ефективно акумулюють і віддають тепло, скорочують загальне споживання енергії та покращують комфорт для мешканців будівлі.

Питання для самоконтролю

1. Як акумуляція тепла в огороджувальних конструкціях впливає на енергетичну ефективність будівель?
2. Які матеріали мають високу теплоємність і як це впливає на їх здатність до акумуляції тепла?
3. Яка роль термічної інерції матеріалів у процесах акумуляції та віддавання тепла?
4. Як змінюється теплообмін в огороджувальних конструкціях під час застосування теплоізоляційних матеріалів?
5. Як віддавання тепла через огороджувальні конструкції впливає на підтримку стабільної температури в приміщенні?

Лекція 10 Вплив вологості на процеси нестационарного теплообміну

Вологість є одним з важливих факторів, що визначають ефективність теплообміну в будівельних конструкціях, особливо у процесах нестационарного теплообміну. Нестационарний теплообмін характеризується тим, що температура та інші фізичні параметри змінюються з часом, що відрізняється від

стаціонарного процесу, де ці параметри стабільні. У таких умовах на теплообмін значно впливають різноманітні зовнішні чинники, серед яких вологість є важливим компонентом, що визначає швидкість і характер теплообміну між матеріалами та середовищем.

Вологість як фізичний параметр впливає на кілька аспектів теплообміну, зокрема на теплопровідність, конвекцію та випромінювання. Залежно від рівня вологості в матеріалах або повітрі змінюються їх теплотехнічні характеристики. Наприклад, вологі матеріали мають інші теплопередавальні властивості порівняно з сухими, що безпосередньо впливає на процеси теплообміну.

У першому випадку, коли вологість висока, матеріали здатні поглинати більше тепла завдяки більшій теплопровідності, а також через процеси випаровування вологи. Це особливо актуально в умовах, коли температура змінюється, а матеріали поглинають або віддають тепло, що супроводжується змінами вологісного вмісту. За високої вологості температура матеріалів змінюється повільніше, оскільки для випаровування вологи необхідна значна кількість тепла, що впливає на загальну енергію, яку матеріали можуть акумулювати або віддавати [8].

Особливо це важливо для теплоізоляційних матеріалів, де надлишкова волога може зменшувати ефективність теплоізоляції. Вологість матеріалу підвищує його теплопровідність, що призводить до збільшення теплових втрат через стіни та інші конструкції. У випадку вологих стін або інших огорожувальних конструкцій теплообмін через конвекцію і теплопровідність може збільшуватися, що погіршує теплоізоляційні властивості матеріалів.

З іншого боку, недостатня вологість або сухість матеріалу також впливає на теплообмін, оскільки в таких умовах можуть виникати явища надмірного охолодження або перегріву, що пов'язано із браком природного теплообміну, який забезпечує волога. У деяких випадках, особливо в холодний період року, сухість матеріалу може призвести до швидкої втрати тепла, що зменшує ефективність будівельних конструкцій у підтриманні стабільної температури.

Процеси конвективного теплообміну в умовах змінної вологості також є важливими. Волога повітря може змінювати свою температуру зі зміною вологості, впливаючи на теплотехнічні характеристики. Внаслідок цього виникають додаткові теплові потоки між внутрішнім середовищем і зовнішнім, що може призводити до неочікуваних коливань температури в будівлі.

Випаровування води з поверхні матеріалів є ще одним важливим механізмом теплообміну, який залежить від вологості. Процес випаровування потребує енергії, яка поглинається з навколишнього середовища, що призводить до охолодження поверхні. У разі високої вологості або перезволоження матеріалів цей процес може значно сповільнитися, змінюючи температуру та енергетичний баланс конструкції.

Зміна вологості в процесах нестационарного теплообміну має суттєвий вплив на стратегії енергозбереження та ефективності опалення і кондиціонування в будівлях. Системи контролю вологості та збереження оптимальних рівнів вологи в будівельних матеріалах можуть значно збільшити енергоефективність будівлі, зменшуючи теплові втрати або зменшуючи потребу в додатковому охолодженні чи опаленні.

Питання для самоконтролю

1. Як рівень вологості впливає на теплопровідність матеріалів у процесах нестационарного теплообміну?
2. Яким чином волога змінює ефективність теплоізоляційних матеріалів?
3. Що таке термічна інерція в умовах зміни вологості в матеріалах?
4. Які основні процеси теплообміну змінюються за високої вологості в будівельних конструкціях?
5. Як впливає випаровування вологи на температуру матеріалів та загальний теплообмін?

Лекція 11 Методи розрахунку та моделювання нестационарного теплообміну в будівництві

Нестационарний теплообмін є складним процесом, який характеризується тим, що температура та інші параметри змінюються з часом, а не залишаються сталими, як у випадку стаціонарного теплообміну. Для проєктування енергоефективних будівель та оптимізації їх теплотехнічних характеристик необхідно застосовувати методи розрахунку та моделювання нестационарного теплообміну. Ці методи дозволяють прогнозувати поведінку будівельних конструкцій під час коливань температури, вивчати процеси теплопередачі в умовах змінних температурних режимів та знаходити найбільш ефективні варіанти для досягнення енергоефективності.

Основними методами розрахунку нестационарного теплообміну є:

1) метод кінцевих різниць. Це числовий метод, який використовує дискретизацію простору і часу для розв'язання рівнянь теплообміну. Процес розрахунку полягає в поділі ділянки на кілька малих елементів, кожен з яких характеризується певними температурними значеннями на кожен момент часу. За допомогою числових методів обчислюються температури в кожному з елементів на наступному кроці часу, що дозволяє визначити динаміку змін температури і теплообміну в системі. Цей метод є дуже потужним для моделювання нестационарних процесів, зокрема в багатошарових огорожувальних конструкціях;

2) метод скінченних елементів. Цей метод ґрунтується на розподіленні об'єкта на малу кількість елементів, де кожен елемент має свою температуру та інші характеристики. За допомогою методу скінченних елементів можна здійснювати більш точний розрахунок нестационарного теплообміну в складних конструкціях, де змінюються не тільки температури, а й інші параметри, такі як теплопровідність, вологість чи щільність. Цей метод є дуже ефективним для моделювання теплопередачі через складні матеріали і конструкції;

3) метод математичного моделювання за допомогою диференціальних рівнянь. Для розрахунку теплообміну в умовах нестационарних температурних

режимів використовуються рівняння, які описують процеси теплопередачі, такі як рівняння теплопровідності та рівняння конвекції. Для розв'язання цих рівнянь часто використовують числові методи, зокрема методи інтегрування, що дозволяє отримати часову залежність температури в різних точках конструкцій;

4) аналіз за допомогою програмних комплексів. Сучасні програмні продукти, такі як ANSYS, COMSOL, MATLAB, дозволяють створювати детальні моделі нестационарного теплообміну для будівельних конструкцій. Ці програми використовують методи кінцевих різниць, скінченних елементів, а також інші числові методи для аналізу температурних процесів в реальному часі. Моделювання допомагає оцінити теплотехнічні характеристики будівельних матеріалів, а також визначити енергетичні втрати через огорожувальні конструкції;

5) експериментальні методи. Поряд з теоретичними методами розрахунку, для дослідження нестационарного теплообміну використовуються експериментальні методи, такі як теплові випробування будівельних конструкцій за допомогою спеціальних сенсорів температури та вологості. Дані, отримані в результаті експериментів, використовуються для коригування математичних моделей та перевірки їх точності.

Моделювання нестационарного теплообміну дозволяє оцінити, як швидко будівельні конструкції можуть нагріватися чи охолоджуватися під впливом змінних температур, а також як змінюється теплопередача між внутрішнім і зовнішнім середовищем. Це важливо для створення енергоефективних будівель, оскільки дозволяє проектувати системи опалення, кондиціонування та теплоізоляції, що максимально оптимізують споживання енергії.

Важливим аспектом під час моделювання є врахування впливу змінних умов навколишнього середовища, таких як сезонні зміни температури, вологість повітря та інші фактори, що можуть впливати на ефективність теплообміну. Це дозволяє точніше передбачити теплотехнічні характеристики будівель протягом року і зменшити теплові втрати або перепади температур.

Завдяки сучасним методам розрахунку та моделювання можна розробляти високоефективні системи для теплоізоляції будівель, що дозволяють значно скоротити енергетичні витрати на обігрів чи охолодження.

Питання для самоконтролю

1. Які основні методи числового розрахунку нестационарного теплообміну використовуються в будівництві?
2. Як метод кінцевих елементів допомагає в розрахунку нестационарного теплообміну?
3. Яке значення має математичне моделювання для оцінки теплотехнічних характеристик будівель?
4. Які переваги використання програмних комплексів для моделювання теплообміну в будівельних конструкціях?
5. Як експериментальні методи можуть бути використані для коригування математичних моделей теплообміну?

Лекція 12 Основи масообміну в будівельних конструкціях: дифузія та сорбція

Масообмін є важливим процесом у будівельній теплофізиці, оскільки він безпосередньо впливає на енергоефективність та мікроклімат у будівлях. Вивчення процесів масообміну в будівельних конструкціях дозволяє краще розуміти механізми взаємодії між внутрішнім середовищем будівлі та зовнішнім оточенням. До цих процесів належать дифузія та сорбція, які є основними механізмами перенесення маси в матеріалах та конструкціях будівель.

Дифузія є процесом, за якого молекули або атоми однієї речовини переміщуються в іншу через молекулярні зіткнення, що приводить до вирівнювання концентрації в обох середовищах. У будівельних конструкціях дифузія є важливим фактором для передачі вологи через стіни та інші огорожувальні конструкції. Молекули водяної пари можуть проникати через шпари матеріалів, таких як бетон або цегла, що викликає зміни в їх вологості,

що, зі свого боку, може впливати на їх теплотехнічні характеристики. Особливо важливим є контролювання цього процесу для запобігання накопиченню вологи, що може призвести до пошкодження матеріалів та зменшення ефективності теплоізоляції.

У будівельних конструкціях основними факторами, які впливають на швидкість дифузії, є температура, вологість та фізико-хімічні властивості матеріалів. Вологість, наприклад, є одним з найважливіших факторів, оскільки високі рівні вологості можуть значно збільшити швидкість дифузії через матеріали, що підвищує ризик утворення конденсату всередині конструкцій. Цей процес необхідно враховувати під час проєктування огорожувальних конструкцій, щоб уникнути виникнення проблем з вологістю та запобігти утворенню цвілі або грибка.

Сорбція – це процес, за якого молекули або атоми одного компонента приєднуються до поверхні іншого матеріалу. У будівельних конструкціях цей процес відіграє важливу роль в поглинанні водяної пари та інших газів, що може суттєво змінювати їх фізико-хімічні властивості. Сорбція водяної пари в матеріалах будівель може впливати на їх здатність до теплоізоляції та механічну міцність. Наприклад, деякі матеріали здатні поглинати вологу, що зменшує їх термічну ефективність, оскільки волога має високу теплоємність і погіршує теплопередачу через конструкції.

Сорбція є важливим процесом у зв'язку з її здатністю забезпечувати певну стабільність вологості в приміщеннях, що може сприяти створенню більш комфортного мікроклімату в будівлях. Наприклад, деякі сорбенти, як-от спеціальні штукатурки або утеплювачі з високою поглинальною здатністю, здатні регулювати вологість у межах оптимальних значень, запобігаючи утворенню конденсату на внутрішніх поверхнях.

Процеси дифузії та сорбції в будівельних конструкціях необхідно враховувати не тільки під час проєктування, але й у разі експлуатації будівель. Знання механізмів масообміну дозволяє створювати конструкції, які будуть стабільно працювати в різних умовах експлуатації, мінімізуючи енергетичні

втрати та покращуючи внутрішній мікроклімат.

Застосування сучасних будівельних матеріалів, що мають поліпшені характеристики дифузії та сорбції, дозволяє досягати значної енергоефективності будівель. Водночас застосування спеціальних мембран і бар'єрів для контролю вологості дозволяє мінімізувати небажані наслідки, які можуть виникати в результаті неадекватного масообміну.

Отже, процеси масообміну, зокрема дифузія та сорбція, мають важливе значення для збереження стабільності температурного та вологостійкого режиму в будівельних конструкціях, а також для досягнення енергоефективності в будівлях.

Питання для самоконтролю

1. Як процес дифузії впливає на теплоізоляційні характеристики будівельних матеріалів?
2. Які фактори визначають швидкість дифузії в будівельних конструкціях?
3. Як сорбція водяної пари впливає на фізико-хімічні властивості будівельних матеріалів?
4. Яка роль вологості в процесах дифузії та сорбції в будівельних конструкціях?
5. Як контроль процесів масообміну може підвищити енергоефективність будівель?

Лекція 13 Вплив повітропроникності матеріалів на вологісний режим будівель

Повітропроникність матеріалів є важливим чинником, що визначає їх здатність пропускати повітря і водяну пару через себе. Вона відіграє значну роль у створенні комфортних умов для проживання в будівлях і безпосередньо впливає на вологісний режим будівель. Адже зміни у вологості всередині будівлі можуть суттєво впливати на її структуру, а також на ефективність опалення та

теплоізоляції.

Будівельні матеріали внаслідок їхньої повітропроникності здатні взаємодіяти з вологістю як зовнішнього, так і внутрішнього середовища. Це означає, що матеріали можуть поглинати вологу, а також випускати її у вигляді водяної пари у повітря або навколишнє середовище. Тому правильний вибір матеріалів, що використовуються для огорожувальних конструкцій, є ключовим для підтримання стабільного вологісного режиму всередині будівлі.

Повітропроникність матеріалів визначається їх структурними властивостями, зокрема розміром шпар і тріщин, які дозволяють проходити молекулам водяної пари. Наприклад, деякі матеріали, такі як цегла або бетон, мають обмежену здатність пропускати повітря, що може призвести до утворення пароізоляційного ефекту, у той час як інші матеріали, наприклад, дерево або шпаруватий бетон, можуть мати вищу повітропроникність, що дозволяє зберігати вологість на оптимальному рівні.

Одним з основних аспектів, що визначає вологісний режим будівель, є здатність матеріалів до поглинання та віддавання водяної пари. Якщо матеріал має високу повітропроникність, він здатний ефективно виводити зайву вологу з приміщення, що запобігає утворенню конденсату на внутрішніх поверхнях стін і вікон. Це також сприяє підтримці оптимального мікроклімату, що є важливим для здоров'я мешканців та збереження матеріалів будівлі.

Водночас надмірна повітропроникність матеріалу може призвести до надмірного висихання повітря в приміщенні, що негативно позначається на рівні вологості та комфорті людей. Нестабільний вологісний режим, що викликаний високою повітропроникністю, може спричиняти пошкодження будівельних матеріалів, зокрема утворення тріщин в штукатурці або руйнування теплоізоляційних властивостей матеріалів.

Інші важливі аспекти, які визначають вплив повітропроникності на вологісний режим, містять кліматичні умови зовнішнього середовища. У холодних кліматах високий рівень повітропроникності може призводити до підвищення рівня конденсації вогкості всередині будівлі, що, зі свого боку, може

викликати появу грибка та плісняви на стінах. В інших регіонах, де вологість повітря є високою, матеріали з підвищеною повітропроникністю можуть ефективно підтримувати здоровий мікроклімат.

Для уникнення проблем, пов'язаних з вологістю, в сучасному будівництві застосовуються різноманітні матеріали та технології, які оптимізують повітропроникність. Наприклад, використовуються пароізоляційні та гідроізоляційні мембрани, що дозволяють контролювати рівень вологи в будівлях, не порушуючи загальний теплоізоляційний режим конструкцій. Це дозволяє зберігати енергоефективність будівель і підвищувати комфортність умов для їх мешканців.

Отже, повітропроникність матеріалів є важливим фактором у підтримці стабільного вологісного режиму в будівлях. Її оптимізація забезпечує комфортні умови для проживання, підвищує енергоефективність будівель і подовжує термін служби конструкцій.

Питання для самоконтролю

1. Як повітропроникність матеріалів впливає на вологісний режим у будівлях?
2. Які наслідки можуть виникнути у разі надмірної або недостатньої повітропроникності матеріалів?
3. Як взаємодіє повітропроникність матеріалів з процесами конденсації в будівлях?
4. Які матеріали найкраще підходять для забезпечення оптимального вологісного режиму в будівлях?
5. Як використовуються сучасні технології для контролю повітропроникності в будівельних конструкціях?

Лекція 14 Конденсаційні явища в будівельних конструкціях та їх наслідки

Конденсація водяної пари в будівельних конструкціях є важливим аспектом, який безпосередньо впливає на теплотехнічні характеристики і

довговічність будівель. Цей процес відбувається, коли водяна пара, що міститься в повітрі, охолоджується до температури, за якої вона переходить із газоподібного стану в рідкий. У будівельних конструкціях конденсація найчастіше відбувається на межі різних температурних шарів, наприклад, між теплоізоляцією і конструкційними матеріалами.

Основною причиною виникнення конденсації є різниця температур між внутрішнім і зовнішнім середовищем, а також вологість повітря в приміщеннях. Якщо температура внутрішніх конструкцій будівлі стає нижчою за точку роси водяної пари, що міститься в повітрі, відбувається її конденсація. Зазвичай цей процес проявляється на стінах, віконних рамах або інших елементах будівель, що знаходяться в контакті з холодним зовнішнім повітрям.

Конденсаційні явища в будівлях можуть мати серйозні наслідки, як для структурної цілісності, так і для здоров'я мешканців. Одним із найбільш очевидних ефектів є утворення вологи на стінах і підлозі, що може призвести до розвитку грибка і плісняви. Це, зі свого боку, може вплинути на повітряний мікроклімат в приміщеннях, зменшуючи його якість і створюючи умови для поширення алергенів і шкідливих бактерій.

Не менш важливим наслідком є погіршення теплоізоляційних властивостей конструкцій. Коли волога осідає у шпарах будівельних матеріалів, вона значно зменшує їх здатність утримувати тепло. Це призводить до підвищення теплових втрат через огорожувальні конструкції, що, зі свого боку, збільшує енерговитрати на опалення приміщень.

Крім того, конденсація може викликати механічні пошкодження будівельних матеріалів. Наприклад, якщо вода потрапляє в структуру бетону чи цегли, зменшуючи їх міцність, може відбуватися руйнування матеріалу під впливом замерзання вологи в зимовий період. За таких умов, навіть якщо зовнішній вигляд конструкцій залишається неушкодженим, їх внутрішня структура поступово втрачає свою міцність і довговічність.

Для запобігання конденсаційним явищам у будівельних конструкціях необхідно враховувати низку важливих факторів. Спочатку потрібно

забезпечити належну теплоізоляцію стін, даху, підлоги та інших огорожувальних конструкцій, щоб уникнути зменшення температури до точки роси. Також важливим є правильний вибір матеріалів, які мають хорошу паропроникність, що дозволяє забезпечити ефективний вихід вологи з будівлі. Крім того, вкрай важливо проєктувати вентиляційні системи, які дозволяють ефективно підтримувати належний рівень вологості в приміщеннях і зменшують ризик конденсації.

Системи контролю за рівнем вологості, включно із гігрометрами та спеціалізованими сенсорами, можуть бути ефективним інструментом для своєчасного виявлення потенційних проблем. Протягом експлуатації будівлі потрібно періодично перевіряти стан конструкцій на наявність конденсаційних явищ, оскільки своєчасне виявлення та усунення проблеми дозволяє уникнути серйозних наслідків.

Отже, конденсаційні явища в будівельних конструкціях є важливим аспектом, який може серйозно вплинути на стан будівлі та комфорт її мешканців. Врахування факторів, що сприяють конденсації, а також застосування належних технологічних рішень для запобігання цьому процесу, має вирішальне значення для забезпечення енергоефективності та довговічності будівель.

Питання для самоконтролю

1. Які основні причини виникнення конденсаційних явищ в будівельних конструкціях?
2. Як конденсація впливає на теплоізоляційні властивості матеріалів?
3. Які наслідки можуть виникнути через конденсацію в будівлях для здоров'я мешканців?
4. Яким чином можна запобігти виникненню конденсаційних явищ у будівлях?
5. Як впливає рівень вологості та вентиляція на процеси конденсації в будівлях?

Лекція 15 Вологісний режим будівельних огорожень та способи його регулювання

Вологісний режим будівельних огорожень є важливим аспектом, який безпосередньо впливає на їх теплотехнічні характеристики, довговічність і енергоефективність. Вологість у будівельних матеріалах суттєво впливає на їхні властивості, такі як теплоізоляція, міцність, паропроникність і здатність до накопичення вологи. Регулювання вологісного режиму є необхідним для забезпечення стабільної роботи конструкцій, запобігання появі плісняви, корозії та зменшення терміну служби матеріалів.

Будівельні огороження підлягають впливу внутрішнього та зовнішнього середовища. Зовнішнє середовище містить атмосферні опади, температурні коливання, вологість повітря, а внутрішнє середовище обумовлене вологістю, що міститься в повітрі всередині будівлі. Зміна температурних умов у цих середовищах спричиняє конденсацію вологи в матеріалах конструкцій, що може призвести до їх пошкодження. Вологість, що накопичується в матеріалах огорожувальних конструкцій, погіршує їх теплоізоляційні властивості, збільшує теплові втрати через стіни, дахи та інші елементи будівель.

До проблем, пов'язаних з високою вологістю в будівельних матеріалах, належать не лише зниження теплоізоляції, а й виникнення корозійних процесів у металах, розмноження грибків та плісняви. У разі надмірної вологості матеріали можуть втрачати свої механічні характеристики, наприклад, вогнестійкість та міцність, що може призвести до структурних пошкоджень конструкцій.

Одним з основних способів регулювання вологісного режиму є вибір правильної конструкції огорожувальних елементів. Важливою умовою є використання матеріалів з високою паропроникністю, що дозволяють волозі ефективно випаровуватись. До таких матеріалів належать, зокрема, спеціальні види штукатурок та утеплювачів, які дозволяють волозі виходити з будівель, запобігаючи її накопиченню в матеріалах.

Ще одним методом регулювання вологісного режиму є створення ефективної вентиляційної системи, яка здатна підтримувати оптимальний рівень вологості в приміщеннях. Процеси природної або механічної вентиляції дозволяють зменшувати вологість повітря в приміщеннях, що запобігає конденсації вологи в будівельних конструкціях.

Система регулювання вологості містить також контроль за кліматичними умовами як зовні, так і всередині будівлі. Внутрішнє середовище повинне підтримувати певний рівень вологості, зазвичай в межах 40–60 %. Для цього використовуються спеціалізовані гігростати та сенсори, які допомагають здійснювати моніторинг і коригування вологості. Водночас зовнішнє середовище, зокрема опади та перепади температури, мають бути враховані під час проєктування огорожувальних конструкцій. Для захисту від впливу атмосферних опадів застосовуються водо- та пароізоляційні матеріали, а також герметизація швів у конструкціях.

Важливою частиною регулювання вологісного режиму є утеплення будівель. Теплоізоляційні матеріали можуть забезпечити мінімальну кількість теплових втрат, зберігаючи стабільний температурний режим всередині конструкцій. Вони також допомагають підтримувати оптимальний рівень вологості всередині матеріалів, зменшуючи ймовірність конденсації.

Іншим методом є використання технології вологозахисту, яка містить нанесення спеціальних захисних покриттів на поверхню матеріалів. Такі покриття допомагають зменшити проникнення вологи у будівельні конструкції та запобігають появі водяних плівок на їхніх поверхнях.

Отже, регулювання вологісного режиму в будівельних огороженнях є необхідним для забезпечення довговічності і ефективності конструкцій. Використання правильних матеріалів, належної вентиляції та відповідних технологій вологозахисту дозволяє зберігати оптимальний рівень вологості в конструкціях і запобігати негативним наслідкам, таким як руйнування матеріалів та погіршення їх теплоізоляційних характеристик.

Питання для самоконтролю

1. Які основні чинники впливають на вологісний режим будівельних огорожень?
2. Як вологість в матеріалах огорожувальних конструкцій впливає на їх теплоізоляційні властивості?
3. Які методи регулювання вологісного режиму можна застосувати в будівництві?
4. Як вентиляція може впливати на вологісний режим будівель?
5. Яке значення має утеплення для підтримання стабільного вологісного режиму в огорожувальних конструкціях?

Лекція 16 Методи підвищення вологостійкості та довговічності будівельних матеріалів

Вологостійкість і довговічність будівельних матеріалів є одними з основних характеристик, що визначають ефективність і надійність будівельних конструкцій протягом тривалого часу. Вони безпосередньо впливають на експлуатаційні характеристики, безпеку та енергоефективність будівель. Висока вологостійкість дозволяє зберігати фізико-механічні властивості матеріалів навіть за умов тривалого впливу вологи, що особливо важливо для конструкцій, які підлягають постійному контакту з атмосферними опадами, конденсатом, або в умовах підвищеної вологості.

Одним з основних напрямків підвищення вологостійкості є використання спеціальних матеріалів, які відзначаються підвищеною стійкістю до вологісного впливу. Це можуть бути як натуральні матеріали, так і сучасні синтетичні компоненти, що мають водовідштовхувальні властивості. Для підвищення вологостійкості використовують спеціальні домішки та покриття, що утворюють на поверхні матеріалу водо- і пароізоляційний бар'єр. Такі покриття зазвичай не перешкоджають нормальному теплообміну матеріалів, але водночас забезпечують ефективний захист від проникнення вологи.

Важливим методом підвищення вологостійкості є використання водовідштовхувальних матеріалів, таких як спеціальні цементні суміші, бетони з водовідштовхувальними домішками та гідрофобні штукатурки. Вони допомагають зменшити здатність матеріалів поглинати вологу з навколишнього середовища, що, зі свого боку, зменшує ймовірність появи плісняви, корозії та інших дефектів, пов'язаних з високою вологістю.

Ще одним важливим методом є використання спеціальних вологостійких покриттів для дерев'яних конструкцій. Дерево, як один з найстаріших будівельних матеріалів, має високу здатність до поглинання води, що може призвести до його гниття або деформації. Щоб запобігти цьому, використовують антисептичні і гідрофобні засоби, які зменшують поглинання води та підвищують довговічність дерев'яних конструкцій.

Бетон та цегла також є матеріалами, що можуть поглинати вологу і через це втрачати свої механічні властивості. Зокрема, в умовах низьких температур вода, яка потрапляє в бетон, може замерзати, що спричиняє його руйнування. Щоб запобігти цьому, використовуються домішки, які зменшують водопоглинання або водовідштовхувальні покриття, що дозволяють зберігати бетон у його первісному стані протягом тривалого часу.

Сучасні методи обробки поверхонь будівельних матеріалів містять також використання різноманітних плівок та мембран, які є додатковим бар'єром для води. Ці матеріали використовуються як для зовнішніх, так і для внутрішніх конструкцій, забезпечуючи захист від води, вітру та інших факторів навколишнього середовища.

Для підвищення довговічності матеріалів також важливим є правильний вибір і обробка швів та з'єднань. Шви, через які можуть проникати вода та повітря, є одними з найбільш вразливих місць у конструкціях. Застосування герметичних засобів і технік для герметизації швів дозволяє значно підвищити загальну довговічність конструкцій, а також забезпечити їх належну тепло- та звукоізоляцію.

Важливою складовою підвищення вологостійкості також є система контролю та моніторингу вологості в будівлях. Для цього використовуються спеціалізовані сенсори та системи вологомірів, які дозволяють своєчасно виявляти підвищену вологість і вжити необхідних заходів для зменшення ризиків, пов'язаних із пошкодженнями матеріалів.

Отже, методи підвищення вологостійкості і довговічності будівельних матеріалів є важливим аспектом, який забезпечує не лише збереження фізико-механічних властивостей матеріалів, а й знижує витрати на утримання і ремонт будівель. Використання спеціальних домішок, покриттів, а також новітніх технологій обробки та захисту дозволяє створювати будівельні конструкції, які можуть служити багато років, зберігаючи свої експлуатаційні характеристики на високому рівні.

Питання для самоконтролю

1. Які основні методи підвищення вологостійкості будівельних матеріалів?
2. Як використання водовідштовхувальних домішок може вплинути на довговічність матеріалів?
3. Чому важливо підвищувати вологостійкість дерев'яних конструкцій, і які методи для цього використовуються?
4. Як бетон і цегла реагують на вологу, і які методи використовуються для запобігання пошкодженням?
5. Яким чином герметизація швів допомагає підвищити довговічність будівельних конструкцій?

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Lintao Fan and all, Temperature field analysis in tunnel construction ventilation with emphasis on duct leakage and thermal conductivity, Case Studies in Thermal Engineering, Vol. 61, September 2024, 105102. URL: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.105102> (date of the application: 04.05.2025).
2. Suman Paneru and all, Assessing building thermal resilience in response to heatwaves through integrating a social vulnerability lens. Journal of Building Engineering. Vol. 98, 1 December 2024. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111219> (date of the application: 04.05.2025).
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. Chen Ren and all, 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, Vol. 251, 15 November 2021, 111351. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111351> (date of the application: 06.05.2025).
5. Claudia Guattari and all, Thermal characterization of building walls using an equivalent modeling approach. Energy and Buildings. Vol. 329, 15 February 2025, 115226. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.115226> (date of the application: 06.05.2025).
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: monograph / Y. Burda ; Kharkiv. O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Kharkiv : O. M. Beketov NUUE, 2025. 130 p. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/68140/> (date of the application: 06.05.2025).

Електронне навчальне видання

БУРДА Юрій Олександрович

БУДІВЕЛЬНА ТЕПЛОФІЗИКА

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. 236Л

Підп. до друку 19.05.2025. 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.