

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення практичних занять та організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«БУДІВЕЛЬНА ТЕПЛОФІЗИКА»

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

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

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

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

Рецензент

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

Рекомендовано кафедрою теплогазопостачання і вентиляції, протокол № 5 від 12.12.2024

Методичні рекомендації призначені для здобувачів спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. Подано теоретичні положення та завдання до практичних робіт, список посилань.

ЗМІСТ

1 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ТА ЇЇ РОЛЬ У БУДІВЕЛЬНІЙ ТЕПЛОФІЗИЦІ	5
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 1	6
2 ПРОВІДНІСТЬ ТЕПЛА В БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ І КОНСТРУКЦІЯХ	6
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 2	7
3 КОНВЕКТИВНИЙ ТЕПЛООБМІН У ВНУТРІШНІХ І ЗОВНІШНІХ СЕРЕДОВИЩАХ БУДІВЕЛЬ	8
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 3	9
4 РАДІАЦІЙНИЙ ТЕПЛООБМІН І ЙОГО ВПЛИВ НА ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУДІВЕЛЬ	10
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 4	11
5 КОМПЛЕКСНІ ПРОЦЕСИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ У БАГАТОШАРОВИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ	12
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 5	14
6 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ЧЕРЕЗ КОНТРОЛЬ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ	14
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 6	16
7 ОСНОВИ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛООБМІНУ ТА ЙОГО ВІДМІННОСТІ ВІД СТАЦІОНАРНОГО ПРОЦЕСУ	16
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 7	19
8 ВПЛИВ ЗМІННИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ УМОВ НА ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУДІВЕЛЬ	19
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 8	22
9 АКУМУЛЯЦІЯ ТА ВІДДАВАННЯ ТЕПЛА В ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ	22
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 9	24
10 ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ НА ПРОЦЕСИ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛООБМІНУ	25
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 10	27
11 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛООБМІНУ В БУДІВНИЦТВІ	27
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 11	29
12 ОСНОВИ МАСООБМІНУ В БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ: ДИФУЗІЯ ТА СОРБЦІЯ	30
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 12	32

13 ВПЛИВ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ МАТЕРІАЛІВ НА ВОЛОГІСНИЙ РЕЖИМ БУДІВЕЛЬ.....	32
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 13	34
14 КОНДЕНСАЦІЙНІ ЯВИЩА В БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ ТА ЇХ НАСЛІДКИ.....	35
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 14	36
15 ВОЛОГІСНИЙ РЕЖИМ БУДІВЕЛЬНИХ ОГОРОДЖЕНЬ ТА СПОСОБИ ЙОГО РЕГУЛЮВАННЯ.....	37
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 15	39
16 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ВОЛОГОСТІЙКОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	39
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 16	42
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	43

1 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ТА ЇЇ РОЛЬ У БУДІВЕЛЬНІЙ ТЕПЛОФІЗИЦІ

Мета заняття: ознайомлення студентів з основами теплопередачі як фізичного процесу, а також розкриття її важливості в контексті будівельної теплофізики. Студенти повинні зрозуміти роль теплопередачі в забезпеченні комфортних умов у будівлях і в процесах енергоефективності будівельних конструкцій.

Теоретичні положення. Теплопередача є процесом перенесення тепла від одного тіла до іншого через різницю температур. Вона відбувається трьома основними способами: теплопровідністю, конвекцією та радіацією. Теплопровідність як основний механізм теплообміну в будівельних матеріалах визначається властивістю матеріалу передавати тепло. Конвекція описує процес передачі тепла через рідини або гази, тоді як радіація містить перенесення енергії у вигляді електромагнітних хвиль. У будівельній теплофізиці ці процеси мають значення для розуміння енергоефективності будівель, зокрема в контексті теплоізоляції та мінімізації теплових втрат.

Основна частина. У рамках заняття студенти повинні ознайомитись з конкретними характеристиками теплопередачі через матеріали, які використовуються в будівництві. Однією з основних тем є теплопровідність будівельних матеріалів, яка визначає їх здатність передавати тепло. Важливими аспектами є також теплотехнічні характеристики матеріалів, такі як їх теплопровідність і теплоємність, що дозволяє визначити ефективність їх використання в огорожувальних конструкціях. Студенти повинні розуміти, як теплопередача впливає на енергоспоживання будівель і на забезпечення комфортних умов для проживання в будівлях. Зокрема ефективність теплоізоляційних матеріалів може значно скоротити витрати енергії для опалення чи охолодження приміщень [1].

Під час практичної роботи студентам надаються задачі з визначення теплопровідності матеріалів, а також розрахунки втрат тепла через різні огорожувальні конструкції. Результати таких розрахунків дозволяють

зрозуміти, які матеріали є найефективнішими для використання в різних кліматичних умовах.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 1

Теоретичні питання

1. Які основні механізми теплопередачі існують у природі, і як вони впливають на будівельну теплофізику?
2. Як визначається теплопровідність будівельного матеріалу і які фактори на неї впливають?
3. Яким чином теплопередача у будівельних конструкціях може впливати на енергоспоживання в будівлях?
4. Яка роль теплоізоляційних матеріалів у процесах теплопередачі?
5. Як взаємодіють різні механізми теплопередачі (теплопровідність, конвекція, радіація) в будівельних конструкціях?

2 ПРОВІДНІСТЬ ТЕПЛА В БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ І КОНСТРУКЦІЯХ

Мета заняття: розкриття основних принципів теплопровідності в будівельних матеріалах і конструкціях, а також ознайомлення студентів з методами визначення теплопровідності матеріалів і з її впливом на енергоефективність будівель. Студенти повинні здобути знання щодо того, як вибір матеріалів може вплинути на теплотехнічні характеристики будівель.

Теоретичні положення. Теплопровідність є процесом перенесення тепла через матеріал, що залежить від різниці температур на його поверхнях. Для будівельних матеріалів теплопровідність є важливою характеристикою, оскільки вона безпосередньо впливає на ефективність теплоізоляції і загальні теплотехнічні характеристики будівель. Теплопровідність матеріалу залежить від його молекулярної структури та щільності. Чим менша теплопровідність матеріалу, тим кращі теплоізоляційні властивості він має. У будівництві використовують матеріали з низькою теплопровідністю для зменшення теплових

втрат, покращення енергоефективності та забезпечення комфортного клімату в приміщеннях.

Теплопровідність матеріалів зазвичай вимірюють в одиницях ват на метр на кельвін ($\text{Вт/м} \cdot \text{К}$). Основними параметрами, які визначають теплопровідність матеріалів, є їхній склад, структура і шпаруватість. Наприклад, матеріали з високою щільністю, такі як бетон або камінь, мають вищу теплопровідність, в той час як шпаруваті матеріали, такі як пінополістирол або мінераловатні утеплювачі, мають низьку теплопровідність, що робить їх хорошими теплоізоляторами.

Основна частина. Під час заняття студентам необхідно ознайомитись з методами вимірювання теплопровідності матеріалів, такими як метод постійного теплового потоку або метод гарячого дроту. Практичні завдання передбачають розрахунок теплопровідності для різних будівельних матеріалів та конструкцій, а також аналіз ефективності використання різних матеріалів у стінах, дахах і підлогах будівель. Розрахунки теплопровідності дозволяють оцінити, який матеріал є найефективнішим для теплоізоляції в конкретних умовах експлуатації будівель, враховуючи їх кліматичні умови та вимоги до енергозбереження.

Студенти також мають ознайомитись з термінами, такими як коефіцієнт теплопровідності (λ), що відображає здатність матеріалу проводити тепло, а також з такими показниками, як теплоємність і теплопередача. Вони повинні розуміти, як різні матеріали впливають на енергетичні характеристики будівель і як можна покращити енергоефективність через вибір правильної теплоізоляції.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 2

Теоретичні питання

1. Які фактори визначають теплопровідність будівельного матеріалу?
2. Як теплопровідність матеріалів впливає на енергоефективність будівель?

3. Яка роль шпаруватих матеріалів у зменшенні теплопередачі в будівельних конструкціях?

4. Які методи вимірювання теплопровідності матеріалів застосовуються у будівництві?

5. Як впливає кліматичний фактор на вибір матеріалів з оптимальною теплопровідністю для будівель?

З КОНВЕКТИВНИЙ ТЕПЛООБМІН У ВНУТРІШНІХ І ЗОВНІШНІХ СЕРЕДОВИЩАХ БУДІВЕЛЬ

Мета заняття: вивчення основ конвективного теплообміну, його ролі в енергетичних характеристиках будівель, а також дослідження процесів теплообміну як у внутрішніх, так і в зовнішніх середовищах будівель. Студенти повинні засвоїти принципи конвективного теплообміну, що містить як природну, так і примусову конвекцію, та їхній вплив на теплотехнічні властивості будівельних конструкцій.

Теоретичні положення. Конвективний теплообмін – це процес перенесення тепла в рідинах і газах, що відбувається завдяки руху молекул середовища. Він поділяється на два основні види: природна і примусова конвекція. Природна конвекція відбувається внаслідок різниці температур, що призводить до зміни густини повітря або інших рідин, внаслідок чого виникає їх рух. Примусова конвекція відбувається, коли на середовище діє зовнішня сила, наприклад, вентилятор або помпа, що змушує його рухатися [2].

У будівництві конвективний теплообмін важливий як у внутрішньому середовищі (у приміщеннях будівель), так і в зовнішньому (атмосфері). Він визначає ефективність теплоізоляції, впливає на комфорт і енергоефективність будівель. Внутрішній конвективний теплообмін виникає через різницю температур між стінами, підлогою, стелею та повітрям у приміщенні, а також через вплив джерел тепла, таких як опалювальні системи або електричні прилади.

В зовнішньому середовищі конвективний теплообмін містить взаємодію з атмосферним повітрям, що рухається, і може бути важливим для теплообміну через огорожувальні конструкції, наприклад, стіни та покрівлі. Тут також важливі такі фактори, як швидкість вітру, температура зовнішнього повітря і його вологість. Визначення коефіцієнтів теплопередачі для зовнішнього і внутрішнього конвективного теплообміну є важливим для проектування енергоефективних будівель.

Основна частина. На занятті студенти вивчають теоретичні основи конвективного теплообміну та принципи його розрахунку з огляду на різницю температур між різними середовищами. Важливо розуміти вплив зовнішніх факторів на конвекцію, таких як температура зовнішнього повітря та швидкість вітру, а також роль внутрішнього теплового навантаження на рівень комфорту в приміщеннях.

Студенти повинні ознайомитись з методами розрахунку коефіцієнтів теплопередачі для конвекції, зокрема для різних типів середовищ – для повітря всередині приміщень та для зовнішнього повітря. Розрахунок і визначення цих коефіцієнтів є основою для правильного вибору систем вентиляції та кондиціонування, що забезпечують комфортну температуру в приміщеннях і зменшення теплових втрат будівель.

Студенти також вивчають різні типи обчислювальних моделей і використовують ці моделі для прогнозування ефективності конвективного теплообміну в різних умовах, зокрема із різними швидкостями потоку повітря, температурними градієнтами і за різних типів поверхонь конструкцій будівель.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 3

Теоретичні питання

1. У чому полягає різниця між природною і примусовою конвекцією в будівельних конструкціях?

2. Яким чином конвективний теплообмін впливає на енергоефективність будівель?

3. Як температура зовнішнього повітря і швидкість вітру впливають на процеси конвективного теплообміну в будівлях?

4. Які методи розрахунку коефіцієнта теплопередачі для конвекції використовуються в будівництві?

5. Як внутрішні джерела тепла впливають на конвективний теплообмін у приміщеннях?

4 РАДІАЦІЙНИЙ ТЕПЛООБМІН І ЙОГО ВПЛИВ НА ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУДІВЕЛЬ

Мета заняття: вивчення основ радіаційного теплообміну, його впливу на теплотехнічні характеристики будівель та ефективність енергозбереження. Студенти повинні розуміти роль радіації в загальному процесі теплопередачі, її вплив на температурні режими в будівлях, а також на технічні характеристики будівельних конструкцій.

Теоретичні положення. Радіаційний теплообмін – це процес перенесення тепла за допомогою електромагнітних хвиль (переважно інфрачервоного діапазону), що виникає між об'єктами, які мають різні температури. Оскільки всі тіла з температурою вище за абсолютний нуль випромінюють енергію, то навіть в умовах, коли безпосереднього контакту між тілами немає, можливе передавання тепла завдяки радіаційному обміну. У будівництві радіаційний теплообмін відбувається між стінами, вікнами, покрівлею та іншими конструкціями будівель, а також між внутрішніми джерелами тепла та навколишнім середовищем [3].

Визначення коефіцієнтів радіаційного теплообміну є критичним для оцінки ефективності теплоізоляції та енергозбереження. Важливим є також вплив матеріалів, що використовуються для будівельних конструкцій, на цей процес. Наприклад, матеріали з високим коефіцієнтом емісії (такі як бетон або метал)

будуть випромінювати більше тепла, ніж матеріали з низьким коефіцієнтом емісії (такі як деревина чи деякі види пластиків).

Радіаційний теплообмін також є основним фактором у вирішенні проблем, пов'язаних з енергозбереженням та комфортними температурними режимами в будівлях. Наприклад, зменшуючи втрати тепла через радіацію, можна досягти значного підвищення ефективності опалення в будівлях.

Основна частина. На занятті студенти вивчають основи теорії радіаційного теплообміну, зокрема закони Стефана – Больцмана та закон Планка, які описують процес випромінювання тепла. Розглядаються конкретні приклади використання цих принципів для обчислення теплообміну між різними частинами будівлі та зовнішнім середовищем. Зокрема важливими є розрахунки втрат тепла через вікна, фасади та інші елементи будівель, де радіаційний теплообмін має значний вплив.

Також розглядаються різні методи скорочення втрат тепла через радіацію, зокрема застосування спеціальних теплоізоляційних матеріалів та покриттів для поверхонь. Студенти повинні зрозуміти, як правильно вибирати матеріали для зовнішніх та внутрішніх поверхонь будівель, щоб зменшити теплові втрати та підвищити енергоефективність.

У рамках заняття студенти також ознайомлюються з розрахунками теплових потоків за допомогою програмного забезпечення для моделювання радіаційного теплообміну в будівлях, що дозволяє точніше оцінювати витрати енергії та вплив різних факторів на загальну теплотехнічну характеристику будівлі.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 4

Теоретичні питання

1. Яка роль радіаційного теплообміну в загальному процесі теплопередачі в будівлях?

2. Як матеріали з різними коефіцієнтами емісії впливають на радіаційний теплообмін у будівельних конструкціях?

3. Які закони описують процес радіаційного теплообміну та як їх можна застосувати для розрахунку теплотехнічних характеристик будівель?

4. Як можна скоротити втрати тепла через радіацію в будівлях, використовуючи сучасні матеріали та технології?

5. Які методи моделювання радіаційного теплообміну використовуються для оцінки енергоефективності будівель?

5 КОМПЛЕКСНІ ПРОЦЕСИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ У БАГАТОШАРОВИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Мета заняття: вивчення комплексних процесів теплопередачі в багатошарових огороджувальних конструкціях будівель. Студенти повинні зрозуміти, як теплопередача через різні шари матеріалів впливає на загальний тепловий потік в будівлі, а також як врахування всіх факторів (кондукції, конвекції, радіації) дозволяє досягти точних розрахунків і ефективних енергозберігаючих рішень у будівництві.

Теоретичні положення. Багатошарові огороджувальні конструкції складаються з кількох різних матеріалів, кожен з яких має свої властивості щодо теплопередачі. Теплопередача в таких конструкціях містить кілька процесів: теплопровідність через окремі шари, конвекцію в повітряному просторі між шарами, а також радіацію, яка може впливати між поверхнями кожного з шарів. Важливим є вивчення того, як ці процеси взаємодіють і як їх правильно оцінювати під час проєктування будівель з метою збільшення енергоефективності.

Кожен матеріал в багатошаровій конструкції має свій коефіцієнт теплопровідності, який визначає, скільки тепла може пройти через нього у разі різниці температур. У багатошарових конструкціях тепло може бути передано не лише через основний матеріал, а й через міжшарові повітряні простори, де

здійснюється конвекція. Врахування цих явищ є необхідним для точного прогнозування загальних теплових втрат [4].

У комплексних розрахунках важливими є також показники радіаційного теплообміну між поверхнями, а також врахування зміни температури та вологості в різних умовах експлуатації. У багатошарових конструкціях це особливо важливо для запобігання конденсації вологих парів, що може призвести до зменшення теплоізоляційних властивостей та пошкодження матеріалів.

Основна частина. У рамках заняття студенти вивчають теоретичні моделі теплопередачі в багатошарових конструкціях, а також різні підходи до їх розрахунку. Одним із важливих аспектів є аналіз термодинамічних процесів, що відбуваються в кожному шарі матеріалу, а також між шарами. Студенти навчаються використовувати методи математичного моделювання для оцінки теплових потоків у таких конструкціях.

Далі розглядається вплив зовнішніх умов, таких як температура і вологість повітря, на процеси теплопередачі в багатошарових конструкціях. Студенти повинні вивчити, як зміна температури та вологості на зовнішніх поверхнях будівлі може змінювати енергетичні характеристики цілих конструкцій, а також як ці фактори взаємодіють з внутрішніми температурними режимами будівлі.

Особливу увагу потрібно приділяти вибору матеріалів для кожного шару, оскільки саме це визначає ефективність теплоізоляції конструкцій. Студенти розглядають різні види утеплювачів та їх характеристики, а також вивчають методи покращення теплоізоляційних властивостей багатошарових конструкцій.

Завершальним етапом заняття є проведення розрахунків теплотехнічних характеристик багатошарових конструкцій для конкретних будівельних умов. Студенти використовують отримані знання для виконання практичних розрахунків і підготовки рекомендацій щодо оптимізації теплових характеристик будівель через правильний вибір матеріалів і конструктивних рішень.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 5

Теоретичні питання

1. Які основні процеси теплопередачі відбуваються в багатошарових огорожувальних конструкціях?
2. Як конвекція, теплопровідність і радіація взаємодіють у багатошарових конструкціях і які фактори їх визначають?
3. Як зміна температури і вологості повітря впливає на ефективність теплоізоляції в багатошарових конструкціях?
4. Які матеріали найбільш ефективні для застосування в багатошарових конструкціях з точки зору теплопередачі?
5. Як можна оцінити енергетичні втрати в багатошарових огорожувальних конструкціях і які методи оптимізації існують для зменшення цих втрат?

6 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ЧЕРЕЗ КОНТРОЛЬ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ

Мета заняття: ознайомлення студентів із сучасними методами збільшення енергоефективності будівель через ефективний контроль теплопередачі. Студенти повинні зрозуміти, як правильне управління теплопередачею може суттєво скоротити енергетичні витрати, підвищити комфорт у будівлях і зменшити їх вуглецевий слід. Крім того, студенти повинні оволодіти методами розрахунку і оптимізації енергоефективності будівель через контроль теплопередачі.

Теоретичні положення. Енергоефективність будівель є важливим аспектом сучасної архітектури та будівництва, а контроль теплопередачі є одним з ключових елементів у забезпеченні ефективного використання енергоресурсів. Теплопередача в будівельних конструкціях відбувається через кілька механізмів: теплопровідність, конвекцію та радіацію. Кожен з цих процесів значно впливає на загальні теплові втрати будівлі. Скорочення теплових втрат і збереження

тепла всередині будівлі дозволяє зменшити енергоспоживання для опалення та кондиціонування.

Для підвищення енергоефективності будівель необхідно застосовувати різноманітні методи контролю теплопередачі, зокрема: використання теплоізоляційних матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності; впровадження систем вентиляції з рекуперацією тепла; оптимізацію віконних та дверних конструкцій для зменшення теплових втрат, а також застосування сучасних технологій для мінімізації теплових мостів. Важливою є також інноваційна автоматизація контролю теплопередачі, що дозволяє скорочувати енергоспоживання залежно від змін зовнішніх та внутрішніх умов [5].

Одним із важливих аспектів є впровадження інтегрованих систем енергоефективного управління, які поєднують технології теплоізоляції, вентиляції та автоматичного регулювання температури для підтримки оптимальних умов у приміщеннях із мінімальними енергетичними витратами.

Основна частина. У рамках заняття розглядаються різні методи підвищення енергоефективності через контроль теплопередачі. Насамперед вивчаються основи використання теплоізоляційних матеріалів, які є основним фактором, що визначає рівень теплопередачі через огорожувальні конструкції будівель. Вибір відповідних матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності дозволяє суттєво скоротити теплові втрати, що є основою енергоефективності будівлі.

Окремо розглядається питання зменшення теплових мостів, які можуть виникати через конструктивні особливості будівлі. Теплові мости призводять до значних теплових втрат, тому важливими є методи їх запобігання. До цього належить використання спеціальних теплоізоляційних матеріалів в місцях з'єднання різних конструкцій та елементів будівлі.

Також розглядається впровадження систем вентиляції з рекуперацією тепла, що дозволяє зберігати теплоту всередині будівлі та скорочувати витрати енергії на обігрів. Інноваційні технології автоматизації також забезпечують контроль

температури та вологості в будівлі, дозволяючи оптимізувати споживання енергії залежно від поточних умов.

Розрахунки теплотехнічних характеристик будівель є важливим елементом контролю за енергоефективністю. Студенти вивчають методи проведення теплотехнічних розрахунків для визначення теплових втрат через стіни, вікна, дахи та підлоги. На основі цих розрахунків можна зробити висновки про вживання необхідних заходів щодо підвищення енергоефективності будівлі.

Одним із важливих етапів заняття є вивчення реальних прикладів впровадження енергоефективних рішень у будівництво. Студенти аналізують досвід існуючих будівель і систем, що дозволяє оцінити практичну ефективність різних методів підвищення енергоефективності.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 6

Теоретичні питання

1. Які основні методи підвищення енергоефективності будівель через контроль теплопередачі?
2. Як теплоізоляція впливає на енергоефективність будівель?
3. Яким чином можна зменшити теплові мости в конструкціях будівель?
4. Як системи вентиляції з рекуперацією тепла сприяють підвищенню енергоефективності?
5. Які розрахунки необхідно виконати для оцінки енергоефективності будівлі?

7 ОСНОВИ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛООБМІНУ ТА ЙОГО ВІДМІННОСТІ ВІД СТАЦІОНАРНОГО ПРОЦЕСУ

Мета заняття: вивчення основ нестационарного теплообміну, його характеристик і процесів, а також розуміння відмінностей між стаціонарним і нестационарним теплообміном. Студенти повинні оволодіти основними принципами, що визначають процеси теплопередачі зі змінними умовами

температури і часу, а також розуміти значення нестационарного теплообміну для проектування та експлуатації будівель та інженерних систем.

Теоретичні положення. Теплообмін між тілами або середовищами може бути описаний через два основні процеси: стаціонарний та нестационарний. Стаціонарний теплообмін характеризується тим, що температури в системі залишаються постійними з часом, а теплові потоки встановлюються і залишаються сталими. У такому процесі температура в будь-якому конкретному місці не змінюється в часі. Це простіший випадок, який використовується для опису теплопередачі в стабільних умовах, коли зовнішні фактори не змінюються.

Нестационарний теплообмін, зі свого боку, описує ситуацію, коли температура змінюється з часом, і теплові потоки варіюються. Це відбувається в результаті коливань температурних умов, таких як зміна температури навколишнього середовища або внутрішніх джерел тепла. За таких умов процес теплообміну є тимчасовим і залежить від часу, що ускладнює розрахунки і прогнозування температурних режимів в приміщеннях і конструкціях [6].

Однією з ключових характеристик нестационарного теплообміну є теплове запізнення, яке виникає через те, що змінювані температури спочатку впливають на зовнішні шари конструкції або середовища, а потім поступово передаються вглиб. Для такого процесу характерна не лише залежність температури від часу, але й наявність хвиль теплопередачі, що можуть розповсюджуватись у середовищі з певною швидкістю. Це робить нестационарний теплообмін більш складним для моделювання, оскільки його опис вимагає врахування багатьох факторів, таких як теплові інерції, зміни в зовнішньому середовищі та характеристики матеріалів.

Основні рівняння для опису нестационарного теплообміну містять диференціальні рівняння теплоперенесення, де враховуються часова зміна температури в точці та її просторове розподілення. У цьому випадку для аналізу теплопередачі необхідно застосовувати числові методи, оскільки аналітичне розв'язання таких рівнянь часто неможливе.

Різниця між стаціонарним та нестаціонарним процесами теплообміну значно впливає на проєктування будівельних конструкцій. У випадку нестаціонарного теплообміну важливо враховувати часову динаміку процесів теплообміну для забезпечення комфортних умов в приміщеннях та мінімізації енергетичних витрат. Це особливо актуально в умовах змінного клімату, де перепади температур є звичним явищем.

Основна частина. Нестаціонарний теплообмін має важливе значення під час проєктування та експлуатації будівель, оскільки за реальних умов температура в різних частинах будівлі змінюється протягом доби і року. Наприклад, зміни температури повітря влітку і взимку створюють умови для нестаціонарного теплообміну через стіни, вікна, дахи та підлоги. Розуміння принципів нестаціонарного теплообміну дозволяє правильно вибирати матеріали та конструкції для забезпечення оптимального температурного режиму в будівлях.

У процесі вивчення нестаціонарного теплообміну необхідно звернути увагу на те, як температура змінюється з часом і як ця зміна впливає на ефективність теплоізоляції та опалення. Наприклад, під час раптових змін температури в приміщенні виникають додаткові теплові втрати, які потрібно враховувати під час проєктування систем опалення та кондиціонування повітря. Для цього застосовуються методи моделювання нестаціонарних процесів, що дозволяють передбачити теплові коливання і своєчасно адаптувати систему обігріву.

Крім того, під час проєктування огорожувальних конструкцій, таких як стіни і покрівлі, важливо враховувати не тільки їх теплоізоляційні властивості, але й здатність до акумуляції тепла. Це дозволяє зменшити вплив зовнішніх температурних коливань на внутрішній мікроклімат будівлі, оскільки акумульоване тепло може віддаватися в нічний час або в момент різкого похолодання [7].

Завдяки знанню основ нестаціонарного теплообміну можна здійснювати більш точні розрахунки для обігріву та вентиляції, що підвищує загальну

енергоефективність будівель. Це дозволяє не тільки скоротити витрати на енергію, але й створити комфортні умови для мешканців.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 7

Теоретичні питання

1. Яка основна відмінність між стаціонарним і нестаціонарним теплообміном?
2. Як температура змінюється в процесі нестаціонарного теплообміну, і як це впливає на теплообмін у будівлях?
3. Які методи використовуються для моделювання нестаціонарного теплообміну в будівельних конструкціях?
4. Чому важливо враховувати нестаціонарний теплообмін під час проєктування систем опалення та вентиляції?
5. Які особливості враховуються під час проєктування огорожувальних конструкцій для забезпечення ефективного теплообміну в умовах змінних температур?

8 ВПЛИВ ЗМІННИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ УМОВ НА ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУДІВЕЛЬ

Мета заняття: вивчення впливу змінних температурних умов на теплотехнічні характеристики будівель. Студенти повинні зрозуміти, як зміна температури навколишнього середовища впливає на внутрішні температурні режими будівель, а також як ці зміни можуть бути враховані під час проєктування та експлуатації будівель. Заняття дозволяє здобути знання, необхідні для розрахунку і оптимізації теплових характеристик будівель у різних кліматичних умовах.

Теоретичні положення. Змінні температурні умови є одними з основних факторів, які визначають теплотехнічні характеристики будівель. Під температурними умовами розуміються зміни температури навколишнього середовища протягом доби і року, а також впливи, пов'язані з внутрішніми

джерелами тепла, такими як опалювальні системи, електроприлади тощо. Від цих змін залежить не лише температура в приміщеннях, але й ефективність теплоізоляції, акумуляції та витрат теплової енергії.

Основними елементами теплотехнічних характеристик будівель є теплоізоляційні властивості матеріалів, які визначають здатність будівель до збереження тепла. Однак ці характеристики можуть значно змінюватися під впливом змінних температур. Наприклад, під час різких перепадів температури можуть виникати додаткові теплові втрати через огорожувальні конструкції, вікна або двері. У таких випадках важливо враховувати не тільки стаціонарний теплообмін, але й нестаціонарний, оскільки температурні коливання можуть значно ускладнити процеси теплообміну [8].

Важливою характеристикою змінних температурних умов є термічний інерційний ефект матеріалів, який полягає в тому, що зі зміною температури в середовищі температура будівельних конструкцій змінюється не відразу, а з певним запізненням. Це впливає на швидкість досягнення рівноважного температурного режиму всередині будівлі. Таким чином, інерція матеріалів може бути як позитивним, так і негативним фактором в контексті енергоефективності будівель.

Перепади температур між зовнішнім середовищем і внутрішніми приміщеннями також можуть спричиняти значні зміни в процесах конвекції, радіації та теплообміну через поверхні. Врахування цих коливань допомагає оптимізувати теплоізоляцію будівель, що є важливим аспектом в умовах змінного клімату.

Особливу увагу потрібно приділяти розрахункам теплових втрат та витрат енергії в будівлях, оскільки змінні температури можуть призводити до непередбачуваних змін в енергетичних витратах, що вимагає точних і своєчасних розрахунків для належного проєктування та ефективного використання енергетичних ресурсів.

Основна частина. Змінні температурні умови визначають велику кількість аспектів теплотехнічних характеристик будівель. Найбільш важливим є вплив

таких умов на теплоізоляцію та ефективність опалення. У будівлях з недостатньою теплоізоляцією перепади температур можуть призводити до значних теплових втрат, що збільшує витрати на опалення. У таких випадках важливим є використання високоякісних теплоізоляційних матеріалів, здатних ефективно захищати будівлі від змін температури.

Врахування змінних температурних умов дозволяє також оптимізувати систему опалення. Наприклад, в умовах зимових температур важливо передбачити необхідну потужність опалювальних систем для забезпечення комфортної температури в приміщеннях. Водночас система повинна бути гнучкою, щоб пристосовуватися до різких змін температури залежно від зовнішніх умов.

Ще одним важливим аспектом є акумуляція тепла в будівельних конструкціях. Матеріали, які мають високу теплоємність, можуть допомогти зберігати тепло в періоди високих температур, а потім віддавати його під час похолодання. Це дозволяє зменшити навантаження на систему опалення та покращити енергоефективність будівлі.

Зміни температури також впливають на поведінку вологісного режиму в будівлях. Вода, що проникає в будівельні конструкції через конденсацію або вологу з навколишнього середовища, може спричиняти корозію матеріалів або зменшення їх теплоізоляційних властивостей. Таким чином, важливо враховувати перепади температури не лише для теплотехнічних розрахунків, але й для збереження довговічності будівельних матеріалів.

Для правильної оцінки впливу змінних температурних умов на будівлі використовуються різні методи розрахунків, включно із числовими моделями і симуляціями, які допомагають врахувати всі аспекти температурних коливань і теплових втрат. Це дозволяє розробити більш точні рекомендації щодо вибору матеріалів і конструкцій для різних кліматичних зон.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 8

Теоретичні питання

1. Як змінні температурні умови впливають на теплоізоляцію будівель?
2. Як перепади температур впливають на систему опалення будівель?
3. Чому важливо враховувати акумуляцію тепла в матеріалах під час проєктування будівель?
4. Які проблеми можуть виникнути через змінні температури, пов'язані з вологістю в будівлях?
5. Які методи використовуються для розрахунку теплотехнічних характеристик будівель в умовах змінних температурних умов?

9 АКУМУЛЯЦІЯ ТА ВІДДАВАННЯ ТЕПЛА В ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Мета заняття: вивчення процесів акумуляції та віддавання тепла в огороджувальних конструкціях. Студенти повинні зрозуміти, як матеріали та конструкції будівель здатні акумулювати тепло і як воно віддається в середовище, що має безпосереднє значення для ефективного управління енергією в будівлях. Це знання є важливим для проєктування енергоефективних будівель, оптимізації температурного режиму в приміщеннях і скорочення енергетичних витрат.

Теоретичні положення. Акумуляція тепла в огороджувальних конструкціях будівель відбувається завдяки властивостям матеріалів, що входять до складу стін, стель, підлог та інших елементів, які контактують з навколишнім середовищем. Тепло акумулюється у матеріалах через їхню здатність до поглинання енергії, що надходить від джерел тепла або зовнішнього середовища, і зберігається до моменту, коли воно може бути віддане назад у приміщення. Цей процес особливо важливий для забезпечення стабільного температурного режиму в будівлі, зменшуючи потребу щодо постійно увімкненого опалення або охолодження.

Основними факторами, які впливають на акумуляцію тепла, є теплоємність і теплопровідність матеріалів. Теплоємність визначає здатність матеріалу поглинати тепло, а теплопровідність – швидкість, з якою це тепло передається через матеріал. Матеріали з високою теплоємністю здатні накопичувати більше тепла, що дозволяє підтримувати комфортну температуру в приміщеннях навіть після вимкнення джерела тепла. Наприклад, цегляні або бетонні стіни можуть акумулювати значну кількість тепла і віддавати його пізніше, коли температура навколишнього середовища знижується.

Після акумуляції віддавання тепла відбувається переважно через конвекцію, радіацію і теплопровідність. Віддавання тепла в приміщення сприяє підтримці стабільної температури, зменшуючи перепади температур, що можуть виникати зі зміною умов навколишнього середовища. Віддавання тепла залежить від кількості накопиченого тепла, теплопровідності матеріалу, а також від температурних умов як всередині будівлі, так і за її межами.

Одним із важливих аспектів, що потрібно враховувати, є те, що акумуляція тепла в конструкціях не завжди є рівномірною. Наприклад, стіни, які постійно нагріваються і охолоджуються, можуть мати неоднакові температурні режими по всій товщині, що призводить до різних темпів віддавання тепла. Зміна температури залежно від часу доби чи пори року визначає періоди активної акумуляції та віддавання тепла. Тому важливо розраховувати оптимальні характеристики матеріалів і конструкцій для досягнення максимального енергозбереження.

Основна частина. Акумуляція тепла в огорожувальних конструкціях дозволяє зменшити потребу в опаленні та охолодженні приміщень. Вона здійснюється шляхом поглинання тепла в денний час та поступового його віддавання вночі або в холодні періоди року. У будівельних конструкціях використання матеріалів з високою теплоємністю, таких як бетон, цегла або камінь, дозволяє значно збільшити енергоефективність будівлі. Такі матеріали здатні зберігати тепло протягом тривалого часу, що дозволяє скоротити витрати на енергозабезпечення.

Однак акумуляція тепла потребує певних умов для її ефективності. До цього входить належний температурний режим у будівлі, а також оптимальне використання теплоізоляційних матеріалів, які мінімізують теплові втрати через зовнішні стіни, вікна та інші огорожувальні конструкції. Важливо також правильно спроектувати вентиляційні системи, щоб гаряче повітря, яке накопичується в приміщеннях, не виходило безконтрольно і не призводило до надмірного перегріву.

Під час розрахунків акумуляції тепла в будівельних конструкціях враховуються такі фактори, як товщина стін, тип матеріалів, їх теплоємність, а також зовнішні умови, що змінюються протягом доби та року. Крім того, важливо розуміти, як впливають коливання температури на швидкість нагрівання та охолодження матеріалів, оскільки це дозволяє оптимізувати внутрішній мікроклімат.

Віддавання тепла в будівлях визначається не тільки матеріалами, але й такими факторами, як температура всередині і зовні будівлі, а також наявність активних джерел тепла, таких як опалення, прилади побутової техніки або освітлення. Найбільш ефективно віддавання тепла відбувається у разі правильного розподілу температури в будівлі і використання теплоізоляції для зменшення втрат тепла через стіни та інші конструкції.

Отже, акумуляція та віддавання тепла в огорожувальних конструкціях є важливими елементами забезпечення комфортних умов для мешканців будівель, а також суттєво впливають на енергозбереження і скорочення витрат на опалення.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 9

Теоретичні питання

1. Які фактори впливають на процес акумуляції тепла в огорожувальних конструкціях?

2. Як теплопровідність матеріалів впливає на акумуляцію та віддавання тепла в будівлі?
3. Чому важливо враховувати зміну температури під час проектування енергозберігаючих конструкцій?
4. Як акумуляція тепла в огорожувальних конструкціях може зменшити енергетичні витрати будівлі?
5. Які матеріали є найбільш ефективними для акумуляції тепла в огорожувальних конструкціях?

10 ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ НА ПРОЦЕСИ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛООБМІНУ

Мета заняття: вивчення впливу вологості на процеси нестационарного теплообміну в будівельних конструкціях. Студенти повинні зрозуміти, як зміна вологості впливає на теплові процеси, які відбуваються в стінах, стелях, підлогах та інших елементах будівель. Це знання є важливим для точних розрахунків під час проектування систем теплообміну, а також для оцінки ефективності теплоізоляції і збереження тепла в будівлях.

Теоретичні положення. Процеси теплообміну в будівельних конструкціях можуть суттєво змінюватися під впливом вологості, оскільки наявність водяної пари в повітрі або в матеріалах конструкцій безпосередньо впливає на їх теплоємність, теплопровідність і здатність до акумуляції тепла. Вода, що міститься в матеріалах або повітрі, змінює теплові властивості цих матеріалів, що може призвести до значних змін у температурних режимах і ефективності теплоізоляційних характеристик.

Вологість впливає на процеси теплопередачі завдяки тому, що вода має значно вищу теплоємність, ніж повітря. Вода здатна накопичувати більше тепла, що, зі свого боку, змінює динаміку теплообміну. Наприклад, матеріали з підвищеною вологістю мають більшу здатність до акумуляції тепла, а також уповільнюють процеси нагрівання та охолодження, оскільки для змін температури вологих матеріалів необхідно витратити більше енергії. Волога в

будівельних матеріалах також збільшує їх теплопровідність, що може призвести до більших теплових втрат у будівлі.

Процеси нестационарного теплообміну відбуваються, коли температура матеріалу або конструкції змінюється з часом. Вологість може змінювати швидкість цих процесів, оскільки може впливати на те, як тепло передається між різними шарами матеріалів, а також між матеріалом і навколишнім середовищем. Вологі матеріали мають більшу здатність до збереження тепла і повільніше реагують на зміни температури, що може бути як перевагою, так і недоліком залежно від умов експлуатації будівлі.

Для точних розрахунків теплопередачі в умовах змінної вологості необхідно враховувати, як вологість впливає на температурний режим конструкцій, а також як швидко вода в матеріалах випаровується або поглинається залежно від температури і вологості навколишнього середовища. Таким чином, визначення вологості є ключовим для моделювання процесів теплообміну в будівлях і для оцінки їх енергетичної ефективності.

Основна частина. Процеси нестационарного теплообміну, в яких температура змінюється з часом, особливо чутливі до впливу вологості. Вологість змінює не тільки теплоємність матеріалів, але і їхню здатність до теплообміну, що може призвести до істотних змін у теплових характеристиках будівель. Оскільки матеріали з високою вологістю мають більшу теплопровідність і здатні акумулювати більше тепла, це може призвести до сповільненого охолодження або нагрівання приміщень.

Волога в будівельних конструкціях здатна змінювати швидкість теплообміну між різними шарами стін або між внутрішнім і зовнішнім середовищем. Висока вологість зменшує ефективність теплоізоляційних матеріалів, що може призвести до значних теплових втрат. Однак в деяких випадках накопичення тепла у вологих матеріалах може бути корисним, зокрема в умовах низьких температур, коли матеріали здатні утримувати тепло і поступово віддавати його, зменшуючи потребу в додатковому опаленні.

У будівлях з високою вологістю процеси теплопередачі також можуть бути ускладнені через утворення конденсату на поверхнях, що контактують з холодними зовнішніми умовами. Конденсація водяної пари може погіршувати теплоізоляційні властивості матеріалів, а також сприяти розвитку грибків і плісняви, що призводить до руйнування будівельних конструкцій.

Отже, вологість в будівлях має важливе значення для визначення ефективності теплотехнічних характеристик. Зміни вологісного режиму в будівлі можуть суттєво вплинути на теплообмін і енергоспоживання. Тому необхідно враховувати вологість в матеріалах під час розрахунків та проектування енергоефективних будівель.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 10

Теоретичні питання

1. Як впливає вологість на теплоємність матеріалів у будівельних конструкціях?
2. Чому вологостійкість матеріалів важлива для ефективності теплообміну в будівлях?
3. Як вологостійкість матеріалів змінює процеси нестационарного теплообміну?
4. Який вплив має волога на ефективність теплоізоляційних матеріалів?
5. Як конденсація водяної пари може змінювати теплообмін у будівельних конструкціях?

11 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛООБМІНУ В БУДІВНИЦТВІ

Мета заняття: ознайомлення студентів з методами розрахунку та моделювання нестационарного теплообміну в будівництві. Студенти повинні зрозуміти основи застосування різних методів для прогнозування теплових процесів у конструкціях, де температура змінюється з часом. Оскільки

розрахунки нестационарного теплообміну необхідні для визначення енергетичних характеристик будівель, це знання допоможе в оцінці ефективності теплоізоляційних матеріалів, систем опалення та охолодження.

Теоретичні положення. Нестационарний теплообмін є процесом, за якого температура матеріалу або середовища змінюється з часом, що відрізняє його від стаціонарного теплообміну, де температури є постійними. У будівництві, де будівельні конструкції підлягають змінюванню температури протягом доби або сезону, важливо правильно розраховувати нестационарний теплообмін, щоб забезпечити енергоефективність та комфорт у приміщеннях.

Процеси нестационарного теплообміну описуються за допомогою рівнянь теплопередачі, які враховують зміну температури в часі. Одним із основних інструментів для цього є рівняння теплопровідності, яке описує теплообмін через матеріали. Однак в умовах нестационарного теплообміну це рівняння містить додаткові параметри, що враховують зміну температури з часом і можуть бути складними для аналізу без застосування чисельних методів.

Основна частина. Методи розрахунку та моделювання нестационарного теплообміну дозволяють детально оцінити температурні процеси в будівельних конструкціях, де температура змінюється з часом. Основним завданням є врахування змін температури матеріалів або конструкцій у різні періоди часу та їхній вплив на теплові втрати і енергоспоживання.

Одним із найбільш використовуваних методів є метод кінцевих елементів. Він дозволяє розділити будівельну конструкцію на дрібні елементи, для кожного з яких розв'язується рівняння теплопередачі з урахуванням часових змін температури. Цей метод дозволяє моделювати складні форми конструкцій, різні типи матеріалів і враховувати такі фактори, як зміна вологості, матеріальна неоднорідність або наявність термічних джерел.

Інший важливий метод – метод скінченних різниць, що базується на дискретизації рівнянь теплообміну і дозволяє отримати наближені рішення для складних умов. Цей метод є менш ресурсовитратним, ніж метод кінцевих

елементів, і може бути використаний для розрахунків у реальному часі для окремих елементів будівельних конструкцій.

Застосування спеціалізованих програм є ще одним важливим інструментом для розрахунків та моделювання. Програмні пакети типу TRNSYS дозволяють моделювати не тільки теплообмін в будівельних конструкціях, але й системи опалення, вентиляції та кондиціонування, що забезпечує комплексний підхід до проєктування енергоефективних будівель. Вони дозволяють провести детальний аналіз впливу зовнішніх і внутрішніх температур, вологості та інших факторів на енергетичну ефективність будівель.

Усі ці методи дозволяють точніше передбачати поведінку будівельних конструкцій у реальних умовах експлуатації, зменшуючи ризик теплових втрат і підвищуючи комфорт в приміщеннях. Вони є важливими інструментами для розробки енергоефективних рішень в будівництві та забезпечення стабільного температурного режиму протягом усього року.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 11

Теоретичні питання

1. Які основні методи розрахунку нестационарного теплообміну використовуються в будівництві?
2. Як метод кінцевих елементів допомагає під час розрахунку теплообміну в будівельних конструкціях?
3. В чому полягають основні відмінності між нестационарним і стаціонарним теплообміном?
4. Як програмні пакети, такі як TRNSYS, можуть допомогти в моделюванні теплообміну в будівлях?
5. Які фактори потрібно враховувати під час моделювання нестационарного теплообміну в будівельних конструкціях?

12 ОСНОВИ МАСООБМІНУ В БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ: ДИФУЗІЯ ТА СОРБЦІЯ

Мета заняття: ознайомлення студентів з основами масообміну в будівельних конструкціях, зокрема з процесами дифузії та сорбції. Студенти повинні зрозуміти механізми масоперенесення через матеріали будівель, вивчити теоретичні засади та застосування цих процесів в практиці будівництва. Опанування цих основ допоможе ефективно контролювати та оптимізувати вологостійкість, термоізоляційні властивості та довговічність будівельних матеріалів.

Теоретичні положення. Масообмін є важливим процесом, що відбувається в будівельних конструкціях і містить перенесення речовин через матеріали або середовища. Він має велике значення для контролю вологісного режиму будівель, а також для визначення термічної та енергетичної ефективності конструкцій.

Дифузія є основним процесом масообміну в багатьох матеріалах. Вона описує перехід молекул від ділянки з високою концентрацією до ділянки з низькою концентрацією, що відбувається через мікроскопічні шпари матеріалів. В будівельних конструкціях дифузія має велике значення для переміщення водяної пари, газів та інших летючих речовин через стіни, стелі і підлогу. Це безпосередньо впливає на вологісний режим і термоізоляційні властивості будівельних матеріалів. Зрозуміти закономірності дифузії необхідно для розрахунків щодо вологи, що потрапляє в конструкції із зовнішнього середовища або з внутрішніх джерел.

Сорбція – це процес поглинання або адсорбції молекул (як рідин, так і газів) на поверхні твердих матеріалів. Вона має важливе значення для вологісного режиму будівель. Сорбція водяної пари в матеріалах може змінювати їх фізичні властивості, такі як теплопровідність і механічну міцність. Наприклад, водяна пара, яка адсорбується у шпаруватих матеріалах, може значно змінити їх поведінку під час перепадів температур, що впливає на загальну енергоефективність будівель.

Процеси дифузії та сорбції безпосередньо пов'язані, оскільки частини молекул, які дифундують, можуть також сорбуватись на поверхні матеріалу. Це обумовлює складність і важливість розрахунків для точного визначення вологостійкості і термічної поведінки будівельних матеріалів.

Основна частина. Масообмін у будівельних конструкціях описується за допомогою двох основних процесів: дифузії та сорбції. Для правильної оцінки впливу цих процесів на енергетичні характеристики будівель важливо правильно розраховувати їх параметри.

Процес дифузії в будівельних матеріалах залежить від їх шпаруватості, вологості та структури. Матеріали з високою шпаруватістю, як-от пінобетон або газоблоки, сприяють більш інтенсивному масоперенесенню, оскільки вони створюють більшу кількість шляхів для молекул водяної пари або газів. В таких матеріалах може відбуватись не лише просте потрапляння вологи, а й її проникнення через мікрошпари, що збільшує ризик накопичення конденсату всередині конструкції.

Сорбція, зі свого боку, визначається як здатність матеріалу утримувати на своїй поверхні молекули води або інших газів. Вона залежить від таких факторів, як тип матеріалу, його шпаруватість, температура та вологість повітря. У будівництві часто використовуються матеріали, що мають високу сорбційну здатність для підтримки оптимального рівня вологості в приміщеннях.

Застосування цих процесів у практиці будівництва є критичним для розробки ефективних теплоізоляційних і вологозахисних систем. Правильне поєднання матеріалів з високою здатністю до дифузії та сорбції може значно збільшити енергоефективність будівель, а також зменшити ризик виникнення цвілі та корозії в конструкціях.

Процеси масообміну мають особливу важливість під час розрахунків енергоефективності будівель. Наприклад, матеріали, що добре поглинають вологу, можуть стати корисними для регулювання вологості в приміщеннях, зменшуючи потребу в активному кондиціонуванні повітря. Водночас матеріали, що сприяють швидкому переміщенню вологи або газів, можуть бути шкідливими

для довговічності конструкцій, оскільки можуть спричиняти їх руйнування в результаті конденсації води.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 12

Теоретичні питання

1. Які процеси масообміну в будівельних конструкціях є основними, і як вони впливають на характеристики матеріалів?
2. Що таке дифузія, і як вона відбувається в будівельних матеріалах?
3. Як сорбція впливає на вологостійкість та теплоізоляційні властивості матеріалів?
4. Які матеріали найкраще підходять для контролю вологості в будівельних конструкціях?
5. Як поєднання процесів дифузії та сорбції може збільшити енергоефективність будівель?

13 ВПЛИВ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ МАТЕРІАЛІВ НА ВОЛОГІСНИЙ РЕЖИМ БУДІВЕЛЬ

Мета заняття: ознайомлення студентів із впливом повітропроникності матеріалів на вологісний режим будівель. Під час заняття студенти повинні дізнатися, як властивості матеріалів, зокрема їх повітропроникність, впливають на вологість в будівлях, а також на їх теплотехнічні та експлуатаційні характеристики. Опанування цих знань є важливим для створення здорового внутрішнього мікроклімату в будівлях, що також сприяє підвищенню енергоефективності будівель.

Теоретичні положення. Повітропроникність матеріалів є здатністю будівельних елементів пропускати повітря через шпари або інші мікроскопічні канали. Вона є важливим параметром, оскільки визначає, як матеріал може впливати на обмін повітря в будівлі. Висока повітропроникність матеріалів забезпечує циркуляцію повітря, що дозволяє підтримувати певний рівень вологості і температури в приміщеннях. Однак занадто висока

повітропроникність може призвести до надмірної втрати тепла, а також до проблем з вологістю.

Вологісний режим в будівлях є ключовим фактором для забезпечення комфортного та здорового середовища. Він залежить від кількості водяної пари, що потрапляє в конструкції, а також від здатності матеріалів утримувати або виводити вологу. Погано контрольоване вологісне середовище може призвести до розвитку плісняви, корозії, зменшення теплоізоляційних властивостей матеріалів і скорочення їх експлуатаційного терміну.

Важливою є роль повітропроникних матеріалів у контролі рівня вологості. Матеріали, які пропускають повітря, можуть допомогти зменшити вологість, але це залежить від їх характеристик, таких як товщина, шпаруватість і матеріал. Наприклад, матеріали, що мають високу шпаруватість, дозволяють повітрю вільно циркулювати і виводити зайву вологу з приміщення.

На відміну від матеріалів з низькою повітропроникністю, які можуть спричиняти накопичення вологи в конструкціях, матеріали з високою повітропроникністю сприяють кращій вентиляції та зменшенню вологості в приміщеннях, що є важливим для енергоефективності та здоров'я мешканців будівлі.

Основна частина. Під час проєктування будівель необхідно враховувати повітропроникність використовуваних матеріалів, оскільки цей параметр безпосередньо впливає на вологісний режим будівлі. Повітропроникні матеріали дозволяють проводити вентиляцію, а також можуть зменшувати ризик конденсації вологи всередині конструкцій. Тому важливо правильно поєднувати матеріали з різними властивостями для досягнення оптимального балансу між теплоізоляцією та вентиляцією.

Для підтримання стабільного вологісного режиму необхідно враховувати, як матеріали взаємодіють із зовнішнім середовищем. Наприклад, в районах з високою вологістю необхідно використовувати матеріали з високою повітропроникністю для забезпечення природної вентиляції, що допомагає уникнути накопичення вологи в конструкціях. Водночас в більш сухих

кліматичних умовах застосування матеріалів з низькою повітропроникністю може зменшити втрати тепла і зберегти стабільний температурний режим.

Повітропроникність матеріалів також впливає на акумуляцію тепла в будівлях. Матеріали з високою повітропроникністю можуть втратити тепло через вентиляцію, що хоча і забезпечує контроль вологості, може зменшувати енергоефективність будівлі. Через це важливо використовувати такі матеріали, які забезпечують оптимальний рівень повітропроникності без зайвих теплових втрат.

З іншого боку, матеріали з низькою повітропроникністю можуть призвести до недостатньої вентиляції та накопичення вологи всередині конструкцій. Це може спричинити корозію металевих елементів, плісняву, а також зменшити теплоізоляційні властивості матеріалів.

Оптимізація повітропроникності матеріалів є важливим етапом під час проектування сучасних будівель, оскільки вона дозволяє досягти балансу між забезпеченням належного вологісного режиму і підтримкою енергоефективності будівлі.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 13

Теоретичні питання

1. Як повітропроникність матеріалів впливає на вологісний режим будівель?
2. Які наслідки для будівель можуть виникнути внаслідок надмірної повітропроникності матеріалів?
3. Як правильно поєднувати матеріали з різною повітропроникністю під час проектування будівель?
4. Які матеріали з високою повітропроникністю найбільш підходять для забезпечення вентиляції в будівлях?
5. Як повітропроникність матеріалів впливає на енергоефективність будівель?

14 КОНДЕНСАЦІЙНІ ЯВИЩА В БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ ТА ЇХ НАСЛІДКИ

Мета заняття: вивчення конденсаційних явищ, які виникають у будівельних конструкціях, а також їх наслідків для експлуатаційних характеристик будівель і здоров'я мешканців. Студенти повинні ознайомитися з умовами, за яких утворюється конденсат, і зрозуміти механізми його появи та вплив на матеріали і конструкції будівель.

Теоретичні положення. Конденсація – це процес, за якого водяна пара, що міститься в повітрі, переходить у рідкий стан зі зниженням температури або підвищенням вологості. У будівництві конденсація відбувається на внутрішніх поверхнях огорожувальних конструкцій, де температура матеріалів є нижчою, ніж точка роси повітря. Це може стати причиною накопичення вологи всередині конструкцій, що сприятиме розвитку плісняви, корозії, зменшенню теплоізоляційних властивостей і навіть міцності матеріалів.

Конденсація є природним фізичним явищем, яке неможливо повністю усунути, проте у разі правильного проєктування можна зменшити ймовірність її виникнення. Це досягається шляхом контролю вологості в приміщеннях, підбору матеріалів з належними тепло- та гідроізоляційними властивостями, а також забезпечення належної вентиляції.

Згідно з фізичними законами конденсація відбувається, коли температура поверхні конструкцій падає нижче за точку роси, а кількість вологи в повітрі стає занадто великою для того, щоб залишатися в газоподібному стані. За таких умов водяна пара починає конденсуватися на холодних поверхнях і може проникати в матеріали, з яких складаються огорожувальні конструкції, що призводить до зменшення їхніх теплоізоляційних властивостей.

Основна частина. Конденсаційні явища можуть виникати в різних частинах будівель, зокрема у стінах, дахах, вікнах та підлозі, де є температурні перепади. Зокрема (особливо це стосується багатошарових конструкцій), де температура на поверхні зовнішнього шару значно відрізняється від температури внутрішнього простору. У таких конструкціях, якщо між шарами немає належної

вентиляції, конденсат може накопичуватися, що призводить до утворення вогкості і плісняви.

Вплив конденсаційних явищ на будівельні матеріали може бути руйнівним. Наприклад, у випадку з дерев'яними елементами конструкцій конденсат може спричинити їх гниття. У металевих конструкціях конденсація може призвести до корозії, що зменшує міцність і стійкість матеріалів. Особливо це стосується зон, де немає ефективної теплоізоляції або вентиляції, а також в конструкціях з використанням шпаруватих матеріалів, які здатні поглинати вологу.

Ще одним важливим аспектом є вплив конденсації на мікроклімат у приміщеннях. Утворення вогкості на внутрішніх поверхнях конструкцій може призвести до росту плісняви та грибків, що негативно позначається на здоров'ї мешканців. Пліснява може викликати алергічні реакції, респіраторні захворювання та інші проблеми зі здоров'ям. Тому важливо звертати увагу на наявність механізмів контролю температури та вологості в приміщеннях.

Крім того, конденсація може значно зменшити теплоізоляційні властивості будівельних конструкцій. Коли волога потрапляє всередину матеріалів, їх здатність зберігати тепло зменшується, що призводить до збільшення енергоспоживання для обігріву будівлі.

Щоб уникнути наслідків конденсаційних явищ, необхідно ретельно проектувати конструкції, обирати правильні матеріали та забезпечувати належну вентиляцію. Сучасні технології дозволяють використовувати матеріали з високими теплоізоляційними властивостями, які зменшують ймовірність утворення конденсату, а також застосовувати різноманітні системи вентиляції, що забезпечують підтримку оптимального вологісного режиму в приміщеннях.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 14

Теоретичні питання

1. Які умови необхідні для виникнення конденсації в будівельних конструкціях?

2. Як конденсаційні явища впливають на теплоізоляційні властивості будівель?
3. Які наслідки можуть виникнути в результаті конденсації на дерев'яних та металевих конструкціях?
4. Як конденсація впливає на здоров'я мешканців будівель?
5. Які методи можна застосувати для запобігання конденсаційним явищам у будівлях?

15 ВОЛОГІСНИЙ РЕЖИМ БУДІВЕЛЬНИХ ОГОРОДЖЕНЬ ТА СПОСОБИ ЙОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Мета заняття: дослідження вологісного режиму будівельних огорожувальних конструкцій, його впливу на ефективність роботи будівлі та здоров'я мешканців, а також вивчення методів регулювання вологості для забезпечення оптимальних умов експлуатації. Студенти повинні ознайомитися з різними чинниками, що визначають вологісний режим, і зрозуміти, як контролювати вологість для запобігання негативним наслідкам.

Теоретичні положення. Вологісний режим будівельних огорожень – це система взаємодії води, пари та матеріалів у конструкціях будівель, яка впливає на теплофізичні властивості огорожувальних конструкцій, їх довговічність та на комфорт мешканців. Вологість у стінах, дахах, вікнах і підлогах є результатом комплексних фізичних процесів, зокрема дифузії водяної пари, конденсації, сорбції та випаровування. Система вологісного режиму визначається як динамічний процес, що змінюється залежно від температури, вологості повітря, а також властивостей використовуваних матеріалів.

Огорожувальні конструкції виконують не тільки функцію тепло- та звукоізоляції, а й мають здатність акумулювати і передавати вологу, що може як позитивно, так і негативно впливати на їх характеристики. Зміни вологісного режиму можуть впливати на механічні властивості матеріалів, погіршувати теплоізоляційні характеристики, а також призводити до корозії металевих частин конструкцій і гниття дерев'яних елементів. Крім того, підвищена вологість у

будівлях може призвести до розвитку плісняви та грибків, що погіршує мікроклімат приміщень і негативно впливає на здоров'я мешканців.

Для запобігання таким наслідкам необхідно проводити контроль та регулювання вологості. Для цього застосовуються різні методи, зокрема правильний вибір матеріалів, які мають необхідні вологопоглинальні та гідроізоляційні властивості, а також забезпечення належної вентиляції та ізоляції.

Основна частина. Керування вологісним режимом в будівельних огорожувальних конструкціях полягає у запобіганні накопиченню надлишкової вологи в матеріалах. Сучасні будівельні технології пропонують низку рішень для регулювання цього процесу, зокрема використання пароізоляційних матеріалів, які зменшують ризик проникнення водяної пари у конструкцію, і вологопоглинальних шарів, які регулюють вологу в межах прийнятних норм.

Один з методів регулювання вологісного режиму – це застосування вогнестійких та водовідштовхувальних матеріалів. Ці матеріали здатні зменшувати проникнення вологи та ймовірність розвитку конденсації в конструкціях. Також важливим є проектування та монтаж правильних систем вентиляції, які забезпечують циркуляцію повітря та своєчасне виведення зайвої вологи з приміщення.

Не менш важливим є використання гідроізоляційних матеріалів в будівництві, особливо в районах з високим рівнем вологості або там, де є ймовірність проникнення вологи ззовні. Гідроізоляція стін, підлог і дахів може значно зменшити ризик вологи, що потрапляє у конструкцію, а також забезпечити її довговічність.

Іншим важливим методом є контроль і регулювання вологості через ефективну організацію опалення та вентиляції. Підтримка оптимальних температурних умов у приміщеннях є ключовим фактором для запобігання конденсації та інших вологісних проблем. Системи вентиляції мають забезпечити постійну циркуляцію повітря і своєчасне відведення зайвої вологи.

Крім того, важливо враховувати сезонні коливання температури та вологості в процесі проєктування будівельних конструкцій. Сезонні зміни можуть призвести до значних коливань вологості в огорожувальних конструкціях, тому застосування спеціальних матеріалів та технологій може забезпечити стабільність вологісного режиму протягом усього року.

Для досягнення найкращих результатів у регулюванні вологісного режиму необхідно здійснювати моніторинг стану конструкцій, своєчасно виявляти проблеми з вологістю і вживати необхідних заходів для їх усунення.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 15

Теоретичні питання

1. Що таке вологісний режим будівельних огорожень і чому він є важливим для експлуатації будівель?
2. Які фактори визначають вологісний режим у будівельних конструкціях?
3. Як вологість впливає на теплофізичні характеристики матеріалів та конструкцій?
4. Які методи застосовуються для регулювання вологісного режиму в будівництві?
5. Яким чином вентиляція може впливати на вологісний режим будівель?
6. Які технологічні методи можуть бути застосовані для оптимізації процесів випаровування та конденсації?

16 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ВОЛОГІСТІЙКОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета заняття: вивчення основних методів збільшення вологістійкості та довговічності будівельних матеріалів. Студенти повинні ознайомитись із технологіями та матеріалами, що дозволяють підвищити стійкість конструкцій до впливу вологи, а також з'ясувати, яких заходів необхідно вживати для

забезпечення довговічності матеріалів під час експлуатації в умовах підвищеної вологості.

Теоретичні положення. Вологість є одним із основних факторів, які визначають довговічність та ефективність роботи будівельних матеріалів. Матеріали, що підлягають впливу води чи вологи, можуть змінювати свої властивості, що, зі свого боку, негативно позначається на надійності та стійкості конструкцій. До основних процесів, що впливають на матеріали в умовах підвищеної вологості, належать корозія, гниття, зміни об'ємних характеристик матеріалів (наприклад, розбухання або тріщини), а також процеси, пов'язані із накопиченням вологи у внутрішніх шарах конструкцій, що можуть призвести до розвитку плісняви чи грибка.

Основним завданням є вибір таких матеріалів та конструкцій, які б були стійкими до води, а також мали здатність ефективно регулювати вологісний режим. Важливими характеристиками вологостійких матеріалів є їхня здатність до гідрофобізації, термостійкості, паропроникності, а також збереження механічної міцності зі зміною вологості.

Для підвищення вологостійкості застосовуються спеціальні домішки та обробка матеріалів, що покращують їхні водовідштовхувальні властивості. До таких методів належать використання гідрофобних домішок у бетоні та штукатурках; імпрегнація деревини спеціальними засобами; обробка металів антикорозійними покриттями, а також застосування спеціальних герметиків для з'єднань та швів.

Довговічність будівельних матеріалів можна підвищити не тільки шляхом обробки самих матеріалів, але й шляхом оптимізації конструкцій для забезпечення належного повітрообміну і вентиляції, що дозволяє запобігти накопиченню вологи у будівельних елементах. Також важливим є правильне виконання гідроізоляції фундаментів, дахів і стін, що зменшує вплив вологи на конструкції.

Основна частина. Збільшення вологостійкості матеріалів досягається кількома шляхами. Один з основних методів – використання гідрофобних

домішок, які змінюють властивості матеріалів, зменшуючи їхню здатність поглинати воду. Наприклад, для бетонів часто використовуються домішки, які запобігають проникненню води у шпари матеріалу. Для дерева використовуються спеціальні захисні покриття, що утворюють на поверхні непроникний для води шар.

Важливим є також застосування спеціальних технологій обробки матеріалів, наприклад, просочування металів антикорозійними речовинами, що забезпечує захист від корозії навіть у разі попадання вологи на поверхню. Дерево, яке поглинає вологу, потребує регулярного оброблення спеціальними засобами, що забезпечують його довговічність.

Для збереження довговічності конструкцій необхідно враховувати фактори, які можуть призвести до накопичення вологи, такі як неправильна вентиляція або брак належної гідроізоляції. Важливим є правильний вибір матеріалів для кожного конкретного конструктивного елемента будівлі. Для фундаментів, підвалів, цоколів та інших конструкцій, що безпосередньо контактують із землею та перебувають у вологих умовах, застосовуються спеціальні водо- та пароізоляційні матеріали. Дахи та стіни мають бути оснащені гідроізоляційними покриттями, що запобігають проникненню води.

Іншою важливою складовою є проектування та монтаж ефективних систем вентиляції та обігріву. Це дозволяє забезпечити оптимальний вологісний режим в будівлях та запобігає накопиченню вологи в конструкціях. Регулярний моніторинг стану вологісного режиму також є необхідним для своєчасного виявлення проблем і вживання необхідних заходів.

Не менш важливою є підвищення термостійкості матеріалів, що дозволяє зменшити вплив перепадів температури на матеріали, зберігаючи їхні властивості навіть у разі наявності значних змін температури та вологості.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 16

Теоретичні питання

1. Які основні фактори визначають довговічність будівельних матеріалів в умовах підвищеної вологості?
2. Як гідрофобні домішки впливають на властивості матеріалів?
3. Яким чином обробка металів антикорозійними засобами може підвищити їх довговічність?
4. Які технології обробки деревини використовуються для підвищення її вологостійкості?
5. Яким чином оптимізація конструкцій та правильне проєктування можуть допомогти у підвищенні довговічності будівель?

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: 07.05.2025).
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: 07.05.2025).
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. 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: 07.05.2025).
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: 07.05.2025).
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: 07.05.2025).

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації

до проведення практичних занять та організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«БУДІВЕЛЬНА ТЕПЛОФІЗИКА»

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

Укладач **БУРДА** Юрій Олександрович

Відповідальний за випуск *Ю. І. Чайка*

Редактор Б. О. Хільська

Комп'ютерне верстання *Ю. О. Бурда*

План 2025, поз. 499М

Підп. до друку 20.05.2025. 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.