

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

Ю. О. Бурда

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕПЛОТЕХНІКИ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування
галузі знань 13 – Механічна інженерія,
освітня програма «Галузеве машинобудування»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

УДК 536.24:66.021.3(07)

Бурда Ю. О. Теоретичні основи теплотехніки : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування, галузі знань 13 – Механічна інженерія, освітня програма «Галузеве машинобудування» / Ю. О. Бурда ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 45 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 Основи енергетичного балансу будівлі: джерела тепловтрат і надходжень.....	5
Питання для самоконтролю.....	7
Лекція 2 Вплив конструктивних рішень на енергоспоживання будівлі.....	7
Питання для самоконтролю.....	9
Лекція 3 Взаємодія внутрішніх і зовнішніх чинників у тепловому режимі будівлі	10
Питання для самоконтролю.....	11
Лекція 4 Теплоакумуючі властивості будівельних матеріалів і конструкцій	12
Питання для самоконтролю.....	14
Лекція 5 Енергетична ефективність сучасних будівель: концепції та методи оцінки.....	14
Питання для самоконтролю.....	16
Лекція 6 Інтелектуальні системи енергоменеджменту в будівлях.....	17
Питання для самоконтролю.....	19
Лекція 7 Фізичні основи теплопередачі в будівельних огорожувальних конструкціях	19
Питання для самоконтролю.....	21
Лекція 8 Вплив матеріалів і їхніх теплотехнічних характеристик на процес теплопередачі.....	22
Питання для самоконтролю.....	24
Лекція 9 Аналіз теплопровідності багатошарових стін: взаємодія шарів	24
Питання для самоконтролю.....	26
Лекція 10 Захист будівель від теплових втрат: сучасні теплоізоляційні рішення	26
Питання для самоконтролю.....	28
Лекція 11 Тепловий опір огорожувальних конструкцій: критерії ефективності	29
Питання для самоконтролю.....	31
Лекція 12 Основні параметри вологого повітря та їхній вплив на мікроклімат приміщень	31
Питання для самоконтролю.....	33

Лекція 13 Процеси зміни стану вологого повітря в системах вентиляції та кондиціонування.....	34
Питання для самоконтролю.....	36
Лекція 14 Конденсація і випаровування вологи: наслідки для будівельних конструкцій	36
Питання для самоконтролю.....	38
Лекція 15 Вплив вологи на теплозахисні характеристики огорожувальних конструкцій	39
Питання для самоконтролю.....	40
Лекція 16 Методи регулювання вологості повітря в житлових і промислових будівлях	41
Питання для самоконтролю.....	43
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	44

ВСТУП

Теплотехніка є фундаментальною галуззю науки та техніки, що вивчає процеси передачі, перетворення і використання теплоти у різних технічних і природних системах. У будівництві та цивільній інженерії вона відіграє ключову роль, оскільки дозволяє забезпечити раціональне використання енергетичних ресурсів, оптимізувати тепловий режим будівель та створити комфортні умови для проживання і роботи людини.

Теоретичні основи теплотехніки ґрунтуються на фундаментальних законах термодинаміки, тепло- і масоперенесення, які дозволяють пояснити механізми взаємодії енергії з будівельними конструкціями та навколишнім середовищем. Важливим аспектом є аналіз енергетичного балансу будівель, дослідження теплопередачі через огорожувальні конструкції, а також вивчення особливостей поведінки вологого повітря, що впливає на тепловий режим приміщень.

В умовах сучасних тенденцій до енергозбереження та підвищення ефективності використання ресурсів знання в галузі теплотехніки стають все більш важливими. Оптимізація конструкцій будівель, застосування новітніх матеріалів з високими теплоізоляційними властивостями, інтеграція енергоефективних систем опалення, вентиляції та кондиціонування є важливою частиною сучасного проєктування.

Цей курс лекцій охоплює основні питання, пов'язані з будівлею як єдиною енергетичною системою, теплопередачею через багат шарові стінові конструкції та поведінкою вологого повітря в приміщеннях. Вивчення цих аспектів дозволяє не лише пояснити фундаментальні фізичні явища, а й застосовувати їх для розробки енергоефективних рішень у будівництві.

Лекція 1 Основи енергетичного балансу будівлі: джерела тепловтрат і надходжень

Будівля як енергетична система функціонує в умовах постійного теплообміну з навколишнім середовищем, що визначає її енергетичний баланс.

Під енергетичним балансом будівлі розуміють співвідношення між надходженням і витратою теплової енергії. Знання цього балансу є ключовим для забезпечення енергоефективності будівель, оптимізації їхніх теплотехнічних характеристик та зменшення енергоспоживання.

Тепловтрати будівлі відбуваються через різні механізми теплообміну, серед яких найвагомішими є теплопровідність, конвекція та випромінювання. Основні джерела тепловтрат містять зовнішні огорожувальні конструкції, через які відбувається передача теплоти від внутрішніх приміщень до холодного зовнішнього середовища. Важливу роль відіграє повітрообмін, зокрема неорганізовані втрати тепла через інфільтрацію та ексфільтрацію повітря через нещільності будівельних конструкцій, віконні та дверні прорізи. Витрати енергії також відбуваються через вентиляційні системи, коли підігріте повітря виводиться назовні без утилізації теплової енергії. Додатковим фактором є втрати тепла через фундаменти та інженерні комунікації, зокрема через неефективну теплоізоляцію трубопроводів.

Надходження теплової енергії до будівлі здійснюється із різних джерел, серед яких природні та техногенні. Сонячна радіація є одним із ключових джерел теплового навантаження на будівлю, впливаючи на її мікроклімат та енергетичний баланс. Вікна та прозорі конструкції можуть сприяти значному надходженню сонячного випромінювання, що особливо актуально для пасивних систем опалення. Внутрішні джерела тепла містять тепло, що виділяється під час роботи побутових приладів, електроосвітлення та тепловиділення від людей. Системи опалення, вентиляції та кондиціонування забезпечують регульоване надходження теплової енергії, спрямоване на підтримання комфортного мікроклімату в приміщеннях [1].

Ефективне управління енергетичним балансом будівлі передбачає впровадження заходів, спрямованих на зменшення тепловтрат і максимальне використання наявних джерел тепла. До таких заходів належить покращення теплоізоляції стін, покрівлі, віконних і дверних прорізів, впровадження енергоефективних вікон, герметизація конструктивних з'єднань для зменшення

інфільтраційних втрат, використання рекуперативних систем вентиляції, що дозволяють повторно використовувати частину теплової енергії витяжного повітря. Інтеграція альтернативних джерел енергії, зокрема сонячних колекторів і теплових pomp, також сприяє покращенню енергетичного балансу будівель, зменшуючи залежність від традиційних енергоносіїв.

В умовах сучасного будівництва аналіз і оптимізація енергетичного балансу будівлі є обов'язковою складовою проєктування. Дослідження процесів теплообміну, застосування сучасних методів моделювання енергоспоживання та використання енергоефективних технологій є необхідними для створення будівель із мінімальними витратами енергії та високими експлуатаційними характеристиками.

Питання для самоконтролю

1. Що таке енергетичний баланс будівлі та які його основні складові?
2. Які механізми теплообміну визначають тепловтрати будівлі?
3. Які основні джерела тепловтрат у будівлі та як вони впливають на енергетичний баланс?
4. Які природні та техногенні джерела теплових надходжень існують у будівлі?
5. Які методи використовуються для підвищення енергоефективності будівель шляхом оптимізації їхнього енергетичного балансу?

Лекція 2 Вплив конструктивних рішень на енергоспоживання будівлі

Енергоспоживання будівлі визначається її конструктивними параметрами, які впливають на процеси теплообміну, мікроклімат та ефективність використання енергетичних ресурсів. Основні конструктивні рішення, що визначають рівень енергоспоживання, містять вибір будівельних матеріалів, тип огорожувальних конструкцій, планувальні особливості, розташування будівлі відносно сторін світу, рівень герметичності та інтеграцію енергоефективних технологій.

Матеріали, що використовуються у будівництві, визначають термічний опір конструкцій, їхню здатність акумулювати тепло та протидіяти зовнішнім впливам. Високий рівень теплоізоляції зовнішніх стін, покрівлі та підлоги зменшує втрати тепла взимку та перегрівання приміщень влітку, що безпосередньо впливає на потребу в опаленні та кондиціонуванні. Теплофізичні характеристики матеріалів, зокрема їхня теплопровідність, щільність і теплоємність, визначають, наскільки ефективно будівля утримує тепло. Використання легких шпаруватих матеріалів із низькою теплопровідністю сприяє підвищенню енергоефективності, тоді як важкі конструкції з високою теплоємністю допомагають стабілізувати температурний режим.

Огороджувальні конструкції, зокрема стіни, вікна, двері та покрівля, відіграють ключову роль у контролі теплових потоків. Високоєфективні фасадні системи, багатошарові конструкції з терморозривами, герметичні віконні блоки з багатокамерними склопакетами та низькоемісійними покриттями суттєво зменшують теплові втрати. Оптимізація конструктивних рішень містить не лише покращення теплоізоляції, а й врахування паропроникності матеріалів для регулювання вологості всередині приміщень, що впливає на комфортні умови та довговічність будівлі.

Планувальні рішення також відіграють важливу роль в енергоспоживанні будівлі. Орієнтація відносно сторін світу визначає рівень природного освітлення та інсоляції, що дозволяє мінімізувати витрати на штучне освітлення та опалення. Великі віконні прорізи на південній стороні сприяють пасивному нагріванню приміщень, тоді як продумане використання тінювих елементів, таких як виступи та жалюзі, запобігає перегріванню влітку. Компактність будівлі, тобто співвідношення її зовнішньої поверхні до внутрішнього об'єму, також впливає на рівень тепловтрат: чим менше зовнішніх поверхонь, тим менше енергії потрібно для підтримання мікроклімату.

Рівень герметичності конструкцій є критично важливим для зменшення тепловтрат через інфільтрацію повітря. Високий рівень повітропроникності огороджувальних конструкцій призводить до неконтрольованих втрат енергії

через нещільності у стінах, вікнах, дверях та з'єднаннях будівельних елементів. Використання герметичних мембран, монтажних стрічок, спеціальних ущільнювачів та контрольованих систем вентиляції дозволяє скоротити втрати та покращити енергетичну ефективність будівлі [2].

Інтеграція енергоефективних технологій, таких як теплоакumuлюючі стіни, активні фасади, рекуперативні системи вентиляції та сонячні колектори, забезпечує додаткове скорочення енергоспоживання. Поєднання конструктивних рішень з автоматизованими системами управління мікрокліматом дозволяє мінімізувати витрати енергії, забезпечуючи комфортні умови для перебування в будівлі.

В сучасному будівництві конструктивні рішення спрямовані на створення енергоефективних будівель із низьким споживанням енергії, що відповідають сучасним стандартам сталого розвитку. Грамотне проектування та використання провідних матеріалів і технологій сприяє не лише скороченню експлуатаційних витрат, а й покращенню екологічних характеристик будівель.

Питання для самоконтролю

1. Яким чином матеріали конструкцій впливають на енергоспоживання будівлі?
2. Як огорожувальні конструкції сприяють зменшенню тепловтрат?
3. Чому орієнтація будівлі відносно сторін світу є важливим фактором енергоефективності?
4. Які методи використовуються для покращення герметичності будівельних конструкцій?
5. Яку роль відіграють енергоефективні технології в оптимізації енергоспоживання будівлі?

Лекція 3 Взаємодія внутрішніх і зовнішніх чинників у тепловому режимі будівлі

Тепловий режим будівлі формується під впливом комплексу внутрішніх і зовнішніх чинників, що визначають рівень теплових надходжень і втрат, стабільність температурного середовища та ефективність використання енергетичних ресурсів. Зовнішні чинники містять кліматичні умови, сезонні зміни температури, сонячну радіацію, вологість, швидкість і напрямок вітру, тоді як внутрішні чинники пов'язані з особливостями експлуатації будівлі, тепловиділеннями від людей, приладів, освітлення та систем опалення. Взаємодія цих чинників визначає не лише комфортні умови перебування, а й енергетичні витрати на підтримку оптимального мікроклімату.

Кліматичні умови є одним із ключових зовнішніх чинників, що впливають на тепловий баланс будівлі. Температура зовнішнього повітря визначає рівень тепловтрат через огорожувальні конструкції, в той час як коливання температури впродовж доби або сезону змінює навантаження на системи опалення та кондиціонування. В умовах холодного клімату основною проблемою є мінімізація втрат тепла, тоді як у теплих регіонах критичним стає захист від перегрівання та зменшення витрат на охолодження.

Сонячна радіація безпосередньо впливає на термічний стан будівлі, змінюючи розподіл температури всередині приміщень залежно від орієнтації фасадів, площі скління та наявності зовнішніх сонцезахисних елементів. Велика кількість сонячного випромінювання сприяє пасивному нагріванню приміщень, що може бути як позитивним чинником в холодний період, так і проблемою влітку, коли перегрівання призводить до зростання потреби в кондиціонуванні.

Вологість і вітер також суттєво впливають на тепловий режим будівлі. Висока вологість повітря може призводити до конденсації в огорожувальних конструкціях, погіршуючи їхні теплофізичні характеристики та сприяючи розвитку мікроорганізмів. Вплив вітру визначає рівень тепловтрат через інфільтрацію повітря, особливо із недостатньою герметичністю будівельних конструкцій [3].

Внутрішні чинники формують додаткові теплові надходження всередині приміщень. Люди, електроприлади, системи освітлення та теплотехнічне обладнання виділяють значну кількість тепла, що може змінювати тепловий баланс будівлі. Інтенсивне використання освітлення, електроніки та побутових приладів у сучасних будівлях призводить до значного підвищення температури повітря, що вимагає додаткових витрат на вентиляцію або охолодження.

Системи опалення та вентиляції є ключовими регуляторами внутрішнього теплового режиму. Автоматизовані системи керування кліматом дозволяють адаптувати параметри мікроклімату відповідно до зовнішніх умов і реального навантаження. Поєднання вентиляційних систем з рекуперацією тепла дає змогу зменшувати енергетичні втрати під час провітрювання приміщень, а використання теплових pomp, сонячних колекторів та інших енергоефективних технологій сприяє оптимізації теплових процесів.

Оптимізація теплового режиму будівлі досягається через раціональне проектування, вибір конструктивних рішень та інтеграцію технологій енергозбереження. Врахування впливу зовнішніх чинників дозволяє ефективно керувати тепловими потоками, мінімізуючи енергетичні витрати. Використання пасивних методів теплозахисту, таких як теплоізоляційні матеріали, герметизація конструкцій, контроль інсоляції та вентиляційні стратегії, сприяє створенню комфортного середовища без надмірного використання енергетичних ресурсів.

Питання для самоконтролю

1. Як кліматичні умови впливають на тепловий режим будівлі?
2. Чому сонячна радіація є важливим фактором під час проектування енергоефективних будівель?
3. Які внутрішні чинники впливають на зміну температурного режиму приміщень?
4. Яким чином вентиляційні системи можуть зменшити теплові втрати?
5. Як взаємодія зовнішніх і внутрішніх чинників впливає на енергетичні витрати будівлі?

Лекція 4 Теплоакумуючі властивості будівельних матеріалів і конструкцій

Теплоакумуючі властивості будівельних матеріалів і конструкцій відіграють ключову роль у формуванні енергетичного балансу будівлі, визначаючи здатність конструкцій акумулювати, зберігати та віддавати теплову енергію. Ці властивості суттєво впливають на стабільність внутрішнього мікроклімату, ефективність використання енергоресурсів та рівень теплових втрат через огорожувальні конструкції.

Основним фактором, що визначає теплоакумуючу здатність матеріалу, є його теплоємність, тобто кількість тепла, яку матеріал може накопичити зі зміною температури. Висока теплоємність дозволяє будівельним конструкціям поглинати надлишкове тепло в періоди його надходження та поступово віддавати його зі зниженням температури внутрішнього повітря. Це властивість особливо важлива для регулювання температурного режиму в будівлях, зменшення амплітуди добових коливань температури та підвищення комфортності мікроклімату.

Матеріали з високою густиною, такі як бетон, цегла, натуральний камінь, мають значну теплоакумуючу здатність завдяки високій теплоємності та здатності накопичувати тепло в масивних конструкціях. З іншого боку, матеріали з низькою густиною, наприклад, шпаруваті утеплювачі, мають низьку теплоємність, що зменшує їхню здатність до акумулювання тепла, але водночас забезпечує ефективну теплоізоляцію.

Важливим аспектом теплоакумуляції є теплопровідність матеріалу, яка визначає швидкість передачі тепла через конструкцію. Матеріали з високою теплопровідністю швидко передають тепло, що може бути як перевагою, так і недоліком залежно від умов експлуатації будівлі. У масивних огорожувальних конструкціях висока теплоємність у поєднанні з помірною теплопровідністю дозволяє створювати ефект теплової інерції, коли приміщення повільно нагріваються та повільно охолоджуються, що сприяє стабілізації внутрішньої температури.

Теплоакумуючі властивості конструкцій особливо важливі для будівель, що експлуатуються в умовах значних добових та сезонних температурних коливань. У таких будівлях товсті стіни з високою теплоємністю можуть ефективно згладжувати температурні перепади, зменшуючи навантаження на системи опалення та кондиціонування. У сучасних енергоефективних рішеннях застосовуються комбіновані конструкції, що поєднують матеріали з різними теплофізичними характеристиками, забезпечуючи оптимальне співвідношення між теплоізоляцією та теплоакумуляцією [4].

Іншим важливим фактором є розподіл теплоакумуючих мас у конструкції. Наприклад, у пасивних будинках для максимального використання сонячної енергії теплоакумуючі елементи, такі як бетонні або кам'яні стіни та підлоги, розташовують у зонах інтенсивного сонячного випромінювання. Вночі або в періоди похолодання накопичене тепло поступово надходить до приміщення, що зменшує потребу в додатковому опаленні.

Застосування фазозмінних матеріалів у будівельних конструкціях є одним із перспективних напрямів підвищення теплоакумуючих властивостей. Такі матеріали здатні змінювати свій фазовий стан (з твердого в рідкий або навпаки) за певних температур, що дозволяє ефективно поглинати та вивільняти тепло. Інтеграція фазозмінних матеріалів у конструкції будівель забезпечує значне підвищення енергоефективності, зменшуючи пікові навантаження на системи опалення та кондиціонування.

Теплоакумуючі властивості конструкцій мають особливе значення для будівель, що використовують відновлювані джерела енергії, такі як сонячні колектори або теплові помпи. Ефективне зберігання та регулювання теплових потоків дозволяє скоротити витрати енергії, покращити стабільність температурного режиму та підвищити загальну комфортність умов перебування.

Таким чином, оптимальне використання теплоакумуючих властивостей будівельних матеріалів і конструкцій дозволяє не лише забезпечити раціональне використання енергетичних ресурсів, але й створити стійкий мікроклімат, що

мінімізує вплив зовнішніх факторів і сприяє скороченню експлуатаційних витрат будівлі.

Питання для самоконтролю

1. Як теплоємність матеріалів впливає на стабільність температурного режиму будівлі?
2. Чому матеріали з високою густиною мають кращі теплоакумуючі властивості?
3. Як взаємодіють теплоізоляційні та теплоакумуючі властивості будівельних конструкцій?
4. Яку роль відіграє розподіл теплоакумуючих мас у будівлі?
5. Як фазозмінні матеріали можуть покращити енергоефективність будівель?

Лекція 5 Енергетична ефективність сучасних будівель: концепції та методи оцінки

Енергетична ефективність сучасних будівель є одним із ключових напрямів розвитку будівельної галузі, спрямованим на мінімізацію енергоспоживання зі збереженням комфортного мікроклімату. Концепція енергоефективності базується на впровадженні сучасних технологій, матеріалів та методів управління енергоресурсами, що забезпечують оптимальне використання теплової та електричної енергії протягом життєвого циклу будівлі.

Основним принципом енергоефективного будівництва є зменшення теплових втрат через огорожувальні конструкції, ефективне використання відновлюваних джерел енергії та раціональне керування мікрокліматом за допомогою інтелектуальних систем управління. Для досягнення цього застосовуються високоякісні теплоізоляційні матеріали, багат шарове скління, герметичні огорожувальні конструкції та ефективні вентиляційні системи з рекуперацією тепла.

Концепція енергетичної ефективності містить кілька рівнів оптимізації будівельного середовища. Перший рівень передбачає використання пасивних методів, таких як орієнтація будівлі відносно сонця, застосування теплової інерції конструкцій та природної вентиляції. Другий рівень містить активні системи, зокрема вискоефективні опалювальні, вентиляційні та освітлювальні установки, що зменшують споживання первинної енергії. Третій рівень передбачає інтеграцію відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі, вітрогенератори та геотермальні системи, що сприяють автономному енергозабезпеченню будівлі.

Методи оцінки енергоефективності будівель базуються на аналізі сукупних витрат енергії та визначенні ключових показників споживання. Одним із основних критеріїв є рівень енергетичного класу будівлі, що визначається відповідно до нормативних документів і стандартів. Наприклад, у європейських країнах використовується шкала від A (висока енергоефективність) до G (низька ефективність), що дозволяє об'єктивно порівнювати різні об'єкти та оцінювати їхню енергетичну придатність [5].

Важливим інструментом оцінки є енергетичний паспорт будівлі, що містить дані про фактичне споживання енергії, теплові характеристики огорожувальних конструкцій, показники систем опалення та вентиляції. Аналіз цих даних дозволяє визначити потенційні шляхи модернізації будівлі та розрахувати терміни окупності енергоефективних заходів.

Оцінка енергоефективності також може здійснюватися за допомогою спеціалізованих програмних комплексів, що дозволяють моделювати енергетичні потоки в будівлі та прогнозувати ефективність різних сценаріїв експлуатації. Такі програми враховують кліматичні умови, параметри огорожувальних конструкцій та інженерних систем, а також поведінкові аспекти споживання енергії.

До сучасних методів оцінки енергоефективності належать міжнародні сертифікаційні системи, які дозволяють визначити рівень екологічної та енергетичної відповідності будівлі. Однією з найпоширеніших систем є LEED

(Leadership in Energy and Environmental Design), що базується на оцінці споживання енергії, якості внутрішнього середовища та впливу будівлі на навколишнє середовище. Іншою популярною системою є BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), яка застосовується для оцінки екологічності будівель на всіх етапах їхнього життєвого циклу.

Енергоефективність сучасних будівель також оцінюється на основі коефіцієнта енергетичної ефективності (Energy Performance Index), що показує співвідношення між спожитою та корисною енергією. Чим нижче значення цього коефіцієнта, тим вища енергоефективність будівлі. Додатково використовується показник питомого енергоспоживання, який дозволяє оцінити ефективність експлуатації будівлі на одиницю площі.

Підвищення енергетичної ефективності сучасних будівель сприяє не лише скороченню експлуатаційних витрат, а й забезпеченню екологічної стійкості. Використання енергоефективних рішень зменшує викиди парникових газів і навантаження на енергетичні мережі, сприяє формуванню більш збалансованого енергетичного середовища.

Отже, концепція енергетичної ефективності будівель базується на комплексному підході, що охоплює як пасивні, так і активні методи оптимізації енергоспоживання. Сучасні технології дозволяють значно підвищити ефективність використання енергетичних ресурсів, а методи оцінки забезпечують об'єктивний аналіз стану будівлі та потенційних шляхів її вдосконалення.

Питання для самоконтролю

1. Які основні принципи енергетичної ефективності сучасних будівель?
2. Які рівні оптимізації енергоспоживання передбачає концепція енергоефективності?
3. Які методи оцінки енергоефективності будівель є найбільш поширеними?

4. У чому полягає значення сертифікаційних систем, таких як LEED і BREEAM?

5. Як використання програмного моделювання допомагає оцінити енергетичну ефективність будівлі?

Лекція 6 Інтелектуальні системи енергоменеджменту в будівлях

Інтелектуальні системи енергоменеджменту є ключовим елементом сучасних енергоефективних будівель, спрямованим на оптимізацію використання енергетичних ресурсів та забезпечення сталого функціонування будівельних об'єктів. Вони базуються на автоматизованому зборі та аналізі даних про споживання енергії, що дозволяє ефективно керувати мікрокліматом, освітленням, вентиляцією, опаленням і кондиціонуванням.

Однією з основних складових інтелектуального енергоменеджменту є система моніторингу енергоспоживання, яка збирає дані про використання електроенергії, тепла, газу та води. Аналіз цих даних дозволяє ідентифікувати потенційні зони перевитрат енергії, визначати неефективність роботи інженерних систем та ухвалювати рішення щодо їхньої оптимізації. Завдяки інтеграції із сенсорними мережами та інтернетом речей, такі системи можуть автоматично регулювати параметри внутрішнього середовища відповідно до заданих сценаріїв або в реальному часі.

Автоматизовані системи управління мікрокліматом у будівлях дозволяють значно скоротити рівень енергоспоживання. Вони працюють на основі прогнозного керування, використовуючи алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту для аналізу історичних даних і зовнішніх чинників, таких як погода, рівень сонячної радіації та присутність людей у приміщенні. Такі системи можуть регулювати температуру, вологість і якість повітря, забезпечуючи оптимальний баланс між енергоефективністю та комфортом.

Інтелектуальні системи освітлення також відіграють важливу роль у підвищенні енергоефективності будівель. Вони використовують сенсори руху, природного освітлення та часові сценарії для регулювання інтенсивності

штучного світла. Завдяки впровадженню світлодіодних технологій та адаптивного керування освітленням досягається значна економія електроенергії без зменшення рівня комфорту для користувачів [6].

Інтелектуальний енергоменеджмент містить інтеграцію будівельних систем у єдину платформу управління. Це забезпечує можливість централізованого контролю та аналізу всіх інженерних мереж, що дозволяє підвищити загальну ефективність експлуатації будівлі. Використання алгоритмів прогнозного моделювання дозволяє виявляти відхилення у роботі систем та попереджати можливі аварійні ситуації.

Одним із ключових напрямів розвитку інтелектуального енергоменеджменту є застосування технологій відновлюваної енергетики, таких як сонячні та вітрові установки, геотермальні системи та акумулятори енергії. Завдяки інтелектуальному управлінню інтеграція цих джерел у загальну енергетичну систему будівлі дозволяє зменшити залежність від традиційних енергетичних ресурсів і підвищити рівень автономності.

Важливим аспектом інтелектуального енергоменеджменту є участь користувачів у процесах енергозбереження. Системи зворотного зв'язку надають інформацію про поточний рівень споживання енергії, а також рекомендації щодо можливих шляхів його зменшення. Використання мобільних додатків та персоналізованих панелей управління дозволяє користувачам здійснювати контроль за своїм енергоспоживанням і коригувати налаштування відповідно до індивідуальних потреб.

Інтелектуальні системи енергоменеджменту також сприяють підвищенню екологічної стійкості будівель. Вони дозволяють зменшити викиди парникових газів за рахунок оптимізації енергоспоживання, сприяють інтеграції відновлюваних джерел енергії та скорочують експлуатаційні витрати будівель. Завдяки впровадженню сучасних технологій будівлі можуть відповідати міжнародним стандартам енергоефективності та екологічної сертифікації, що є важливим фактором у розвитку сталого будівництва.

Таким чином, інтелектуальні системи енергоменеджменту в будівлях є

комплексним рішенням, яке поєднує сучасні технології збору, аналізу та оптимізації використання енергетичних ресурсів. Вони дозволяють не лише скорочувати експлуатаційні витрати, а й підвищувати рівень комфорту та екологічної стійкості будівель, що робить їх важливою частиною майбутнього енергоефективного будівництва.

Питання для самоконтролю

1. Які основні функції інтелектуальних систем енергоменеджменту в будівлях?
2. Як працюють системи прогнозного керування мікрокліматом у будівлях?
3. Які технології використовуються для оптимізації освітлення у сучасних будівлях?
4. Яку роль відіграє інтеграція відновлюваних джерел енергії в інтелектуальному енергоменеджменті?
5. Як взаємодія користувачів з інтелектуальними системами сприяє підвищенню енергоефективності будівлі?

Лекція 7 Фізичні основи теплопередачі в будівельних огорожувальних конструкціях

Теплопередача в будівельних огорожувальних конструкціях є ключовим аспектом, що визначає енергетичну ефективність будівлі. Вона охоплює процеси передачі тепла через різні матеріали та структури, що використовуються в будівництві. Порозуміння фізичних основ теплопередачі дозволяє ефективно проектувати будівельні конструкції, які забезпечують оптимальні умови для енергозбереження та комфорту в приміщеннях.

Теплопередача в матеріалах може здійснюватися трьома основними способами: теплопровідністю, конвекцією та радіацією. У контексті будівельних конструкцій найважливішим є процес теплопровідності, через який тепло передається через тверді матеріали, що складають огорожувальні конструкції,

такі як стіни, дахи та підлоги. Теплопровідність визначається здатністю матеріалу проводити тепло, і цей параметр залежить від молекулярної структури та щільності матеріалу. Чим вище коефіцієнт теплопровідності, тим більші тепловтрати через конструкцію.

Важливу роль у скороченні тепловтрат відіграють теплоізоляційні матеріали. Вони мають низьку теплопровідність і сприяють зменшенню теплових потоків, перешкоджаючи втратам тепла з приміщень. Такі матеріали застосовуються в різних частинах огорожувальних конструкцій для забезпечення комфортних температурних режимів у будівлі за мінімальних енергетичних витрат. До таких матеріалів належать пінопласт, мінеральна вата, пінополістирол та інші утеплювачі, які створюють перешкоди для руху тепла через стіни, дахи та підлоги [7].

Ще одним важливим фактором є вологість, яка також значно впливає на теплопередачу. Матеріали, які поглинають вологу, можуть змінювати свої теплопровідні властивості, що призводить до підвищення теплових втрат. Для забезпечення належної теплотехнічної ефективності будівлі необхідно враховувати властивості матеріалів щодо поглинання та випаровування вологи, що особливо важливо для стін і покрівель, які підлягають значним змінам вологості протягом року.

Конвекція – це процес перенесення тепла через рух повітря або інших рідин. У будівлях конвекція виникає, коли тепло від внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій передається у повітря. Цей процес є частиною природної циркуляції повітря, де тепле повітря піднімається вгору, а холодне опускається вниз. Врахування конвекції в проектуванні будівель дозволяє оптимізувати теплообмін в інтер'єрі та покращити ефективність систем вентиляції.

Радіація є третім способом теплопередачі, за якого тепло переноситься через електромагнітні хвилі. У контексті будівельних конструкцій важливим є теплообмін між поверхнями, які випромінюють теплову енергію. Це явище особливо значуще для стін, вікон і покрівель, які можуть поглинати або

випромінювати інфрачервоне випромінювання. Врахування властивостей матеріалів щодо радіаційної теплоємності допомагає забезпечити ефективність теплотехнічних характеристик будівлі, зменшуючи енергоспоживання.

Особливу увагу варто приділити теплотехнічним характеристикам багат шарових конструкцій. У таких системах кожен шар має різні теплопровідні властивості, що дозволяє значно скоротити тепловтрати через огорожувальні конструкції. Тепловий опір багат шарової стінки визначається сумою теплових опорів кожного з шарів, а ефективність теплоізоляції значною мірою залежить від правильно підібраних матеріалів і технологій їх укладання.

Всі ці фізичні процеси повинні враховуватися під час проєктування будівель, щоб забезпечити не тільки комфортні умови для мешканців, а й значну економію енергетичних ресурсів. В результаті правильно спроектовані огорожувальні конструкції здатні зменшувати витрати на опалення і охолодження, зменшуючи негативний вплив на навколишнє середовище.

Таким чином, фізичні основи теплопередачі в будівельних огорожувальних конструкціях містять детальне вивчення процесів теплопровідності, конвекції і радіації, а також правильний вибір матеріалів для забезпечення максимальної енергоефективності будівель.

Питання для самоконтролю

1. Які три основні способи теплопередачі існують у будівельних огорожувальних конструкціях?
2. Як теплоізоляційні матеріали впливають на теплопередачу через стіни та покрівлю?
3. Чим конвекція відрізняється від теплопровідності у контексті теплопередачі в будівлях?
4. Як вологість матеріалів може вплинути на їх теплопровідні властивості?
5. Яким чином багат шарові конструкції сприяють скороченню тепловтрат?

Лекція 8 Вплив матеріалів і їхніх теплотехнічних характеристик на процес теплопередачі

Процес теплопередачі в будівельних конструкціях значною мірою залежить від властивостей матеріалів, з яких ці конструкції складаються. Вибір відповідних матеріалів з певними теплотехнічними характеристиками має критичне значення для забезпечення енергоефективності будівлі та створення комфортних умов для її мешканців. Теплотехнічні характеристики матеріалів визначають, наскільки ефективно вони здатні проводити, зберігати або перешкоджати передачі тепла через будівельні конструкції.

Основним параметром, що впливає на теплопередачу, є теплопровідність матеріалу, яка визначає здатність матеріалу передавати тепло від більш гарячої до більш холодної ділянки. Теплопровідність вимірюється у ватах на метр на Кельвін ($\text{Вт/м}\cdot\text{К}$) і залежить від молекулярної структури матеріалу. Матеріали з низьким коефіцієнтом теплопровідності, такі як пінопласт, пінополістирол, мінеральна вата та інші теплоізоляційні матеріали, здатні ефективно зменшувати тепловтрати, що робить їх ідеальними для використання в огорожувальних конструкціях будівель. У той час як матеріали з високою теплопровідністю, такі як бетон або метал, здатні передавати значну кількість тепла, що призводить до збільшення тепловтрат через стіни, дахи та підлоги.

Важливим фактором є також теплоємність матеріалу, яка визначає здатність матеріалу зберігати тепло. Чим вища теплоємність, тим більше тепла матеріал може накопичити із підвищенням температури. Цей параметр особливо важливий для матеріалів, які використовуються для зберігання тепла в холодні періоди і забезпечення стабільного теплового режиму. Матеріали з високою теплоємністю здатні забезпечити теплотехнічну стабільність, акумулюючи тепло вдень та поступово віддаючи його вночі. Такі матеріали часто застосовуються в конструкціях, де важливо зберігати температуру впродовж тривалого часу, наприклад, в стінах або підлогах.

Теплотехнічні характеристики матеріалів також містять їх здатність до паропроникності, що впливає на збереження тепла. Матеріали, які можуть

пропускати водяну пару, здатні зменшити ризик утворення конденсату, що, зі свого боку, може запобігти утворенню плісняви та інших проблем з вологою. Наприклад, цегла та дерево є більш паропроникними матеріалами порівняно з бетоном або металом. Це має важливе значення для забезпечення належної вентиляції і збереження теплого та сухого середовища в будівлі [8].

Ще одним важливим параметром є термічна інерція матеріалів, яка визначає швидкість зміни температури матеріалу під час нагрівання або охолодження. Матеріали з високою термічною інерцією можуть уповільнити зміни температури в будівлі, що сприяє енергоефективності, оскільки такі матеріали не дозволяють різким коливанням температури значно впливати на внутрішні умови. Вони можуть бути особливо корисними в будівлях, де потрібно забезпечити стабільний температурний режим без частих змін.

Також важливим є використання багатошарових конструкцій, в яких кожен шар може мати різні теплотехнічні характеристики, що дозволяє створити ефективні бар'єри для теплопередачі. Наприклад, стіни з теплоізоляцією, що складаються з кількох матеріалів, дозволяють зменшити тепловтрати, зберігаючи при цьому надійність конструкції. Комбінація матеріалів із різними коефіцієнтами теплопровідності дозволяє значно покращити енергоефективність будівлі, зменшити витрати на опалення та кондиціонування.

Крім того, вплив теплотехнічних характеристик матеріалів можна оцінювати через їх взаємодію з зовнішніми умовами, такими як температура повітря, вологість та сонячна радіація. Тому під час вибору матеріалів для огорожувальних конструкцій важливо враховувати не тільки їх фізичні властивості, але й місцеві кліматичні умови, щоб досягти максимальної енергоефективності та забезпечити комфортний мікроклімат в будівлі.

Таким чином, вплив матеріалів та їх теплотехнічних характеристик на процес теплопередачі є фундаментальним аспектом у проєктуванні енергоефективних будівель. Знання і застосування цих характеристик дозволяє значно зменшити тепловтрати, забезпечити комфортні умови для мешканців і скоротити енергетичні витрати будівель.

Питання для самоконтролю

1. Як теплопровідність матеріалів впливає на енергетичну ефективність будівель?
2. Яка роль теплоємності матеріалів у процесі збереження тепла в будівлі?
3. Як паропроникність матеріалів впливає на теплообмін в будівельних конструкціях?
4. Чому термічна інерція матеріалів важлива для забезпечення стабільної температури в будівлі?
5. Як багатошарові конструкції можуть покращити теплотехнічні характеристики будівлі?

Лекція 9 Аналіз теплопровідності багатошарових стін: взаємодія шарів

Теплопровідність багатошарових стін є важливим аспектом, що визначає енергетичну ефективність будівель. Взаємодія різних шарів матеріалів у такій конструкції визначає загальний тепловий опір стіни, а, отже, і рівень тепловтрат через огорожувальну конструкцію. Багатошарові стіни дозволяють ефективно комбінувати матеріали із різними теплотехнічними властивостями, що дає можливість зменшувати загальні тепловтрати, підвищуючи енергоефективність будівлі.

Основна ідея багатошарових конструкцій полягає у використанні різних матеріалів, що мають різні коефіцієнти теплопровідності. Це дозволяє зменшити теплові втрати через стіну, адже матеріали з низьким коефіцієнтом теплопровідності зазвичай використовуються в ізоляційних шарах, які зменшують теплообмін між внутрішнім та зовнішнім середовищем. Водночас матеріали з високим коефіцієнтом теплопровідності, такі як бетон або цегла, використовуються для забезпечення міцності та стійкості конструкції.

Загальний тепловий опір багатошарової стіни можна розрахувати як суму теплових опорів кожного шару. Тепловий опір кожного шару залежить від

товщини матеріалу та його коефіцієнта теплопровідності. Для того щоб досягти ефективної теплоізоляції, важливо правильно поєднувати шари з різними теплотехнічними характеристиками. Наприклад, товстіші шари теплоізоляційних матеріалів, таких як пінопласт або мінеральна вата, можуть значно зменшити теплопровідність стіни, забезпечуючи більший опір тепловому потоку.

Однак важливо зазначити, що взаємодія шарів у багатошарових стінах не є простою сумою їх теплових опорів. Теплопередача в багатошарових конструкціях має свої особливості, які виникають через різницю в температурних градієнтах між шарами матеріалів. Під час теплопередачі через багатошарову стіну частина тепла може передаватися через контакти між шарами, що спричиняє незначні втрати енергії. Для того щоб мінімізувати ці втрати, важливо враховувати не лише індивідуальні теплотехнічні характеристики матеріалів, але й їх взаємодію на межах контактів.

Теплопередача через багатошарові стіни залежить також від того, чи є на цих межах повітряні прошарки. Повітря, хоча й має низьку теплопровідність, може створювати додаткові теплові опори, якщо воно знаходиться в обмежених просторах між матеріалами. Проте, якщо ці прошарки виявляються недостатньо ізольованими, то теплопередача може збільшитися через конвекцію або конденсацію вологи у таких зонах, що призведе до зменшення ефективності теплоізоляції.

Для забезпечення оптимального теплоізоляційного ефекту важливо використовувати матеріали з низьким коефіцієнтом теплопровідності для зовнішніх і внутрішніх ізоляційних шарів. Проте не менш важливим є правильний вибір середніх шарів, які повинні бути достатньо міцними для підтримки стійкості конструкції, але не порушувати ефективність теплоізоляції. Також важливо враховувати можливість утворення мікротріщин або деформацій, які можуть зменшувати ізоляційні властивості матеріалів.

Взаємодія шарів в багатошарових стінах впливає також на інші аспекти теплопередачі, такі як паропроникність і вологостійкість. Матеріали з високою

паропроникністю можуть сприяти зменшенню накопичення вологи між шарами, що важливо для запобігання проблемам із зниженням теплотехнічних характеристик, які виникають внаслідок конденсації вологи.

Таким чином, процес теплопередачі в багатошарових стінах визначається не тільки теплотехнічними властивостями кожного окремого матеріалу, але й їх взаємодією між собою. Для досягнення максимальної енергоефективності необхідно враховувати вплив всіх шарів, їх товщину, теплопровідність, а також характеристики повітряних прошарків та потенціал для утворення конденсату.

Питання для самоконтролю

1. Як теплопровідність кожного матеріалу впливає на теплопередачу через багатошарову стіну?
2. Що таке тепловий опір і як він визначається для багатошарової конструкції?
3. Які фактори взаємодії між шарами матеріалів впливають на ефективність теплоізоляції в багатошарових стінах?
4. Як повітряні прошарки між матеріалами можуть змінювати теплопередачу через багатошарові конструкції?
5. Які фактори важливо враховувати для запобігання утворенню конденсату в багатошарових стінах?

Лекція 10 Захист будівель від теплових втрат: сучасні теплоізоляційні рішення

Теплові втрати через будівельні конструкції є однією з основних причин неефективного використання енергії в будівлях. Вони можуть відбуватися через стіни, дахи, вікна, двері та інші огорожувальні конструкції, що призводить до значних витрат на опалення та кондиціонування. Тому застосування сучасних теплоізоляційних рішень стає необхідністю для скорочення енергоспоживання та забезпечення комфортного мікроклімату в будівлях. Останнім часом у сфері будівництва розроблені нові технології та матеріали, які значно підвищують

ефективність теплоізоляції і зменшують тепловтрати.

Одним із найефективніших методів зменшення тепловтрат є використання теплоізоляційних матеріалів з низькою теплопровідністю. Сучасні теплоізоляційні матеріали, такі як пінополістирол, пінополіуретан, мінеральна вата, ековата та інші, забезпечують високий рівень ізоляції навіть за порівняно невеликої товщини. Ці матеріали здатні зменшувати теплопередачу через огорожувальні конструкції, значно скорочуючи тепловтрати. Вибір конкретного матеріалу залежить від вимог до експлуатаційних характеристик, таких як міцність, вологостійкість, пожежна безпека та екологічні фактори.

Для зовнішніх стін активно використовуються методи утеплення, які містять як традиційні, так і новітні матеріали. Одним із найбільш популярних рішень є система теплоізоляції зовнішніх стін (ETICS), яка передбачає наклеювання теплоізоляційного матеріалу на зовнішню поверхню стіни, а потім обробку її декоративним шаром. Цей метод дозволяє значно зменшити тепловтрати та одночасно покращити зовнішній вигляд будівлі. Водночас важливо забезпечити належну герметичність і захист від вологи, оскільки волога може суттєво зменшити ефективність теплоізоляції.

Іншим сучасним рішенням є використання інтегрованих теплоізоляційних систем, що містять не тільки матеріали з низькою теплопровідністю, але й додаткові елементи для збереження тепла, такі як відбивні плівки, термозахисні плівки та спеціальні мембрани, які створюють додаткові бар'єри для тепла. Наприклад, використання теплоізоляційних панелей, що поєднують ізоляційний матеріал з конструкційними елементами, дозволяє спростити процес утеплення, скорочуючи терміни будівництва і забезпечуючи високу ефективність.

Особливу увагу потрібно приділяти також енергоефективності вікон і дверей, оскільки через них може відбуватися значний теплопотік. Сучасні віконні системи з багатокамерними склопакетами та енергозберігаючими покриттями здатні значно зменшити тепловтрати через вікна. Завдяки вдосконаленим технологіям виготовлення скла та герметизації, теплопередача через віконні конструкції може бути значно зменшена. Вікна з низькоемісійним

покриттям, що відбивають інфрачервоне випромінювання, дозволяють зберігати тепло в приміщенні, водночас пропускаючи достатню кількість світла.

Також важливим аспектом є використання термоакумулюючих матеріалів, які здатні накопичувати теплоту вдень і поступово віддавати її вночі. Такі матеріали, як бетон із високою теплоємністю або спеціальні плитки, можуть бути використані у стінах, підлогах або дахах для зменшення коливань температури в будівлі. Це дозволяє зменшити навантаження на систему опалення, особливо в умовах змінних температур.

Системи пасивного і активного сонячного опалення також стають популярними як частина комплексу заходів з енергозбереження. Пасивне сонячне опалення передбачає розміщення вікон і конструкцій таким чином, щоб максимально використовувати сонячне тепло в зимовий період. Активне сонячне опалення містить використання сонячних колекторів для нагріву води або повітря, що потім використовується для опалення приміщень.

Для максимального ефекту важливо також враховувати наявність теплових мостів, які можуть суттєво зменшувати ефективність теплоізоляції. Теплові мости виникають у місцях, де матеріали з високою теплопровідністю контактують із теплоізоляційними шарами. Наприклад, у місцях з'єднання стін із балконами або у вузлах покрівлі і стін. Використання спеціальних теплоізоляційних елементів для усунення теплових мостів може значно покращити ефективність теплоізоляції будівлі.

Таким чином, сучасні теплоізоляційні рішення, що містять використання новітніх матеріалів, систем утеплення, вікон з енергозберігаючими властивостями та термоакумулюючих технологій, є основою для скорочення теплових втрат і підвищення енергоефективності будівель. Вони сприяють не лише економії енергії, а й створенню комфортних умов для мешканців будівель.

Питання для самоконтролю

1. Які матеріали використовуються для зменшення тепловтрат через зовнішні стіни будівель?

2. Які переваги мають багатокамерні віконні системи для зменшення тепловтрат?
3. Як термоакумулюючі матеріали сприяють енергозбереженню в будівлях?
4. Що таке теплові мости і як їх усунення впливає на енергетичну ефективність?
5. Які сучасні методи утеплення будівель можна застосувати для скорочення теплових втрат?

Лекція 11 Тепловий опір огорожувальних конструкцій: критерії ефективності

Тепловий опір огорожувальних конструкцій є важливим параметром, який визначає здатність стін, даху, вікон та інших елементів будівель перешкоджати передачі тепла з одного середовища до іншого. У будівництві та проєктуванні ефективність теплоізоляційних рішень оцінюється саме за цим показником, оскільки він безпосередньо впливає на енергоефективність будівлі та її енергоспоживання. Підвищення теплового опору конструкцій сприяє зменшенню тепловтрат, що особливо важливо для створення комфортного внутрішнього клімату та скорочення витрат на опалення та кондиціонування.

Тепловий опір огорожувальних конструкцій визначається матеріальними властивостями використаних будівельних матеріалів, їх товщиною та способом розташування в конструкції. Важливою умовою є не тільки висока теплоізоляційна здатність, але й здатність матеріалів витримувати тривале використання без значного погіршення своїх характеристик. Тепловий опір конструкцій є індикатором їх здатності зберігати тепло всередині будівлі в холодний період і запобігати перегріву в літній період.

Одним із основних критеріїв ефективності є теплопровідність матеріалів, які використовуються в огорожувальних конструкціях. Теплопровідність матеріалу визначає, наскільки швидко тепло передається через нього. Матеріали із низькою теплопровідністю, такі як пінополістирол, мінеральна вата,

пінополіуретан, значно зменшують теплові втрати. Тепловий опір конструкції прямо пропорційний товщині матеріалу та обернено пропорційний його теплопровідності. Вибір матеріалів з низькою теплопровідністю дозволяє зменшити товщину ізоляційних шарів, що робить конструкції більш компактними, зберігаючи їх ефективність.

Зв'язок між теплопровідністю матеріалів і тепловим опором є важливим для проєктування будівель, де необхідно досягти оптимального балансу між термічними властивостями матеріалів та їх вартістю. Вибір конкретного матеріалу залежить не тільки від його теплоізоляційних властивостей, але й від інших факторів, таких як вогнестійкість, міцність, зносостійкість, а також екологічні та економічні характеристики.

Ефективність теплового опору огорожувальних конструкцій залежить від кількості шарів і їх комбінацій. Використання багат шарових конструкцій дозволяє досягти значно вищого теплового опору, оскільки кожен додатковий шар матеріалу погіршує теплопередачу. Важливо враховувати не тільки матеріали, а й їх поєднання, оскільки деякі шари можуть взаємодіяти між собою, покращуючи або погіршуючи тепловий опір загальної конструкції. Наприклад, якщо один з шарів є водопоглинальним, це може зменшити ефективність теплоізоляції, тому важливо обирати матеріали, які будуть забезпечувати герметичність конструкції і запобігати потраплянню вологи, що може призвести до погіршення їх термоізоляційних властивостей.

Також важливо враховувати погодні умови, в яких буде експлуатуватися будівля. У різних кліматичних зонах вимоги до теплового опору можуть значно відрізнятися, оскільки в районах з холодними зимами важливим є забезпечення максимальної теплоізоляції, тоді як у теплих кліматах необхідно враховувати ефективність теплового опору також і влітку, коли важливо зберегти прохолоду в будівлі.

Крім того, сучасні технології дозволяють впроваджувати інноваційні методи утеплення та зменшення тепловтрат. Одним із таких рішень є використання інтегрованих систем утеплення, які містять не лише

теплоізоляційні матеріали, а й спеціальні мембрани, що зменшують вологопоглинання та покращують загальну теплоізоляційну здатність конструкцій. Такі системи забезпечують високу ефективність навіть у складних умовах.

Важливим аспектом є також постійний моніторинг та оцінка стану теплоізоляційних матеріалів протягом часу. Навіть матеріали з високими теплоізоляційними властивостями можуть втрачати ефективність через старіння, пошкодження або вплив зовнішніх факторів. Регулярне технічне обслуговування та модернізація ізоляційних матеріалів дозволяють підтримувати високий рівень енергоефективності будівлі на всіх етапах її експлуатації.

Питання для самоконтролю

1. Які фактори визначають тепловий опір огорожувальних конструкцій?
2. Як взаємодія матеріалів у багатошарових конструкціях впливає на їх тепловий опір?
3. Чому вологопоглинання матеріалів може зменшувати їхню ефективність у складі теплоізоляції?
4. Які матеріали використовуються для забезпечення високого теплового опору в будівлях?
5. Як кліматичні умови впливають на вибір теплового опору конструкцій будівлі?

Лекція 12 Основні параметри вологого повітря та їхній вплив на мікроклімат приміщень

Вологе повітря є одним із основних компонентів мікроклімату приміщень, оскільки його параметри значною мірою визначають комфорт перебування людей у замкнених просторах. Теплообмін між людиною та навколишнім середовищем, фізіологічний комфорт, а також різноманітні процеси, що відбуваються в будівлі, залежать від того, наскільки правильно підтримується

вологість і температура повітря.

Основними параметрами вологого повітря є температура, вологість та кількість водяної пари, що міститься в повітрі. Ці параметри взаємопов'язані та суттєво впливають на відчуття людиною тепла чи холоду, ефективність опалювальних і вентиляційних систем, а також на здоров'я та збереження матеріальних елементів будівлі.

Температура повітря є першим параметром, який впливає на відчуття людини. Вона визначає, чи є приміщення теплим або холодним. Однак сама собою температура не завжди є достатнім фактором для визначення рівня комфорту. Коли температура повітря підвищується, збільшується також здатність повітря утримувати вологу. Вологість повітря є важливим чинником, що впливає на теплообмін через випаровування поту з поверхні тіла. За високої температури високий рівень вологості може зробити середовище неприємним, оскільки зменшується здатність організму охолоджуватися через потовиділення. З іншого боку, низька вологість за високих температур може спричинити сухість шкіри, слизових оболонок, а також стати причиною розвитку різноманітних хвороб.

Вологість повітря вимірюється у відсотках відносної вологості, що показує, скільки водяної пари міститься у повітрі порівняно з максимальною кількістю, яку це повітря може утримувати за певної температури. Із високою відотною вологістю відчуття тепла збільшується, оскільки потовиділення відбувається значно повільніше, і організм не може ефективно охолоджуватися. Якщо ж вологість низька, відчуття тепла зменшується, але з іншого боку, це може призводити до зневоднення організму, проблем з дихальними шляхами та зменшувати рівень комфорту.

Температурна та вологісна стійкість приміщення залежить від теплоізоляційних властивостей будівельних матеріалів, вентиляційних систем та термостатичних регулювань. Наприклад, у разі поганого вентилування волога, що утворюється в результаті дихання людей або конденсації в приміщенні, може призводити до утворення цвілі, грибків, а також до погіршення загального

мікроклімату в будівлі. Однак добре спроектовані системи вентиляції дозволяють утримувати оптимальний рівень вологості, що сприяє комфортному середовищу для людей.

Крім того, рівень вологості впливає на матеріали, що знаходяться в будівлі. Зміни вологості можуть призводити до деформацій дерев'яних конструкцій, виникнення тріщин у стінах, а також до пошкодження електроніки, яка не витримує високого рівня вологості. Для забезпечення правильного мікроклімату необхідно враховувати не тільки температуру повітря, але й співвідношення температури та вологості, щоб створити здорові умови для проживання людей, зберігання матеріалів та нормальної роботи технічних систем будівлі.

Особливу увагу потрібно приділяти умовам вентиляції, оскільки вона відіграє ключову роль у регулюванні рівня вологості в приміщеннях. Системи вентиляції та кондиціонування мають підтримувати оптимальні показники вологості, не допускати надмірного осідання вологи на стінах і вікнах, а також сприяти постійному обміну повітря в приміщенні. У випадку збереження високої вологості протягом тривалого часу може відбуватися корозія металевих конструкцій, що погіршує їхню міцність і тривалість експлуатації.

Ось чому правильне регулювання параметрів вологого повітря є основою для підтримки не тільки комфортного, але й здорового мікроклімату в будівлях. Це дозволяє забезпечити нормальні умови для проживання, роботи, а також для збереження здоров'я людей і довговічності будівельних конструкцій.

Питання для самоконтролю

1. Як температура повітря впливає на вологість та комфорт у приміщенні?
2. Яким чином високий рівень вологості може впливати на процес потовиділення?
3. Як зміни в рівні вологості можуть вплинути на стан будівельних матеріалів?
4. Які системи регулюють рівень вологості в приміщеннях?

5. Які наслідки для здоров'я людини може мати постійна висока вологість у приміщенні?

Лекція 13 Процеси зміни стану вологого повітря в системах вентиляції та кондиціонування

Процеси зміни стану вологого повітря в системах вентиляції та кондиціонування мають важливе значення для створення комфортного і здорового мікроклімату в будівлях. Вони базуються на принципах термодинаміки, зокрема процесах зміни температури, вологості та ентальпії повітря залежно від параметрів системи вентиляції та кондиціонування. Знання цих процесів дозволяє ефективно керувати мікрокліматом, підтримувати оптимальні умови для комфортного перебування людей у приміщеннях і забезпечувати енергоефективність технологічних процесів.

Основний процес зміни стану вологого повітря полягає в його охолодженні або нагріванні, що веде до зміни відносної вологості повітря. Якщо температура повітря знижується із незмінним рівнем вологості, то відносна вологість збільшується. В умовах кондиціонування та вентиляції це часто призводить до конденсації вологи, оскільки температура повітря опускається нижче за точку роси. Процеси охолодження повітря в кондиціонерах часто супроводжуються осадженням водяної пари на охолоджувальних поверхнях, що вимагає належного дренажу та контролю рівня вологості в повітрі. В результаті конденсації, волога видаляється з повітря, що призводить до зменшення рівня вологості у приміщенні.

Навпаки, під час нагрівання повітря зменшується його відносна вологість, навіть якщо загальна кількість водяної пари залишатиметься незмінною. Це відбувається через збільшення максимально можливої кількості водяної пари, яку може утримувати повітря із підвищенням температури. Для збереження оптимального рівня вологості в приміщеннях необхідно використовувати системи, що забезпечують додаткову вологу в разі її занадто низького рівня, або виведення надлишкової вологи за високого рівня вологості.

В системах вентиляції зміна стану вологого повітря також здійснюється через обмін повітря між внутрішнім і зовнішнім середовищем. Вентиляційні системи можуть виводити з приміщення вологе повітря і поступово вводити свіже, яке має інші параметри вологості та температури. Відповідно до режиму роботи системи це може бути як припливне, так і витяжне повітря. Припливне повітря зазвичай має більшу вологість, особливо в сезон дощів або в холодний період, коли повітря ззовні є більш насиченим водяною парою. Витяжне повітря, яке відводиться з приміщення, зі свого боку, є більш вологим через підвищену вологість, що утворюється внаслідок життєдіяльності людей або технологічних процесів.

Кондиціонування повітря також є важливим процесом зміни стану вологого повітря в будівлі. Системи кондиціонування не тільки охолоджують, але й зменшують вологість повітря, що має велике значення у спекотних і вологих кліматичних умовах. Вони забирають надлишкову вологу через процеси конденсації на охолоджувальних елементах, у такий спосіб зменшуючи відносну вологість у приміщенні. Водночас, якщо рівень вологості занадто низький, може знадобитися використання зволожувачів повітря, які додають вологу в середовище, щоб уникнути сухості повітря, що може шкідливо впливати на здоров'я людей, викликаючи сухість шкіри та слизових оболонок.

Процеси зміни стану вологого повітря також значно впливають на ефективність роботи вентиляційних і кондиціонуючих систем. Для досягнення максимального комфорту та енергоефективності важливо точно регулювати параметри повітря, використовуючи сучасні технології автоматизації. Вони дозволяють точно підтримувати необхідні рівні температури та вологості, автоматично коригуючи роботу систем відповідно до зовнішніх погодних умов і внутрішнього мікроклімату приміщень.

Особливе значення має управління станом вологого повітря в будівлях з високими вимогами до чистоти та гігієни, таких як лікарні, лабораторії та виробничі приміщення, де наявність надлишкової вологи може призвести до розвитку мікроорганізмів та грибків, що негативно позначиться на здоров'ї

людей і якості продукції.

Отже, процеси зміни стану вологого повітря є складним і важливим аспектом управління мікрокліматом будівель. Вони впливають на здоров'я і комфорт людей, а також на енергоефективність і технічний стан будівлі.

Питання для самоконтролю

1. Як зміна температури повітря впливає на відносну вологість у системах кондиціонування?
2. Чому в системах кондиціонування відбувається конденсація водяної пари і як це впливає на мікроклімат?
3. Яку роль відіграють системи вентиляції у змінах стану вологого повітря в приміщеннях?
4. Як системи кондиціонування можуть зменшувати вологість повітря в приміщенні?
5. Яким чином рівень вологості повітря впливає на комфорт і здоров'я людей у приміщенні?

Лекція 14 Конденсація і випаровування вологи: наслідки для будівельних конструкцій

Конденсація і випаровування вологи – два важливі фізичні процеси, які значно впливають на стан будівельних конструкцій та їх ефективність. Ці процеси відіграють ключову роль у формуванні внутрішнього мікроклімату в будівлях та можуть мати як позитивні, так і негативні наслідки для матеріалів та загальної енергоефективності будівель.

Конденсація вологи відбувається, коли тепле, насичене водяною парою повітря охолоджується до температури, нижчої за точку роси, що призводить до переходу водяної пари у рідкий стан. Це може статися на поверхнях, температура яких є нижчою за навколишнє повітря. Для будівельних конструкцій та матеріалів це може бути особливо небезпечно, адже зібрана волога може проникати в структуру матеріалів, зменшуючи їхню міцність, сприяючи корозії

металевих елементів та руйнуванню ізоляційних шарів. Крім того, постійне накопичення вологи в стінах, стелях або підлогах може призвести до розвитку плісняви та грибків, що значно погіршує мікроклімат приміщень і негативно впливає на здоров'я людей.

Зазвичай конденсація виникає в тих частинах будівлі, де перепад температур найбільший. Наприклад, це можуть бути внутрішні поверхні стін, вікна або міжшарові простори в багатошарових конструкціях, якщо теплоізоляція недостатня або має дефекти. Крім того, волога може конденсуватися в затишних, погано вентильованих приміщеннях, де рівень вологості повітря високий. Найбільш поширеним прикладом цього є вікна та стіни в підвалах, де за низьких температур поверхні часто конденсують вологу з повітря.

Випаровування вологи є зворотним процесом, за якого вода в рідкому вигляді перетворюється на пару. Випаровування може відбуватися з різних поверхонь будівельних конструкцій, особливо в умовах підвищеної температури або зі зменшенням вологості повітря в приміщеннях. Випаровування води з поверхні будівельних матеріалів може призвести до зменшення їх вологості, що позитивно впливає на загальний стан конструкцій, проте також може спровокувати деякі негативні наслідки. Наприклад, матеріали, що підлягають тривалому випаровуванню води, можуть втратити свою здатність до теплоізоляції, що зменшує енергоефективність будівлі. У випадку з дерев'яними конструкціями надмірне випаровування може викликати їх пересихання та тріщини, що також зменшує міцність і стійкість матеріалу.

Наслідки конденсації і випаровування вологи для будівельних конструкцій можуть бути дуже серйозними, якщо ці процеси не контролюються належним чином. У випадку конденсації вологи на внутрішніх поверхнях стін або в ізоляційних матеріалах теплоізоляційні властивості можуть погіршитися, що призведе до збільшення енергетичних витрат на обігрів будівлі. Тривала волога в конструкціях може викликати корозію металевих елементів, розм'якшення матеріалів, сприяючи їх поступовому руйнуванню. Мікробіологічні процеси,

такі як розвиток плісняви або грибка, також спричиняють значну шкоду для матеріалів, особливо в умовах підвищеної вологості, і можуть бути небезпечними для здоров'я людей.

З іншого боку, випаровування води з поверхні матеріалів може призвести до втрати їхніх властивостей, якщо цей процес відбувається без належного контролю. Наприклад, у випадку з теплоізоляційними матеріалами це може зменшити їх ефективність. Випаровування також може бути проблемою в умовах сильної зміни температури, коли матеріал, який втрачає воду, може змінювати свою форму або розміри, що впливає на цілісність конструкцій.

Для того щоб уникнути негативних наслідків цих процесів, важливо ефективно керувати мікрокліматом у приміщеннях, забезпечувати належну вентиляцію і теплоізоляцію, а також застосовувати спеціальні матеріали, які зменшують ризик конденсації і випаровування вологи в будівельних конструкціях. Врахування цих процесів на етапах проєктування, будівництва та експлуатації будівель є необхідним для забезпечення довговічності і надійності конструкцій, а також для підтримання комфортних і здорових умов всередині приміщень.

Питання для самоконтролю

1. Які негативні наслідки конденсації вологи для будівельних конструкцій?
2. Як випаровування вологи впливає на теплоізоляційні властивості матеріалів?
3. Чому вологість в приміщенні важлива для запобігання корозії металевих елементів?
4. Як зменшити ризик розвитку плісняви і грибків у будівлях?
5. Які заходи можуть бути вжиті для контролю процесів конденсації та випаровування вологи в будівлях?

Лекція 15 Вплив вологи на теплозахисні характеристики огорожувальних конструкцій

Волога значно впливає на теплозахисні характеристики огорожувальних конструкцій, і цей вплив може як зменшувати, так і змінювати ефективність теплоізоляційних матеріалів. Огорожувальні конструкції є основними елементами будівлі, що забезпечують теплоізоляцію, і тому їхня ефективність безпосередньо залежить від кількості вологи, яка міститься в матеріалах.

У разі наявності вологи в конструкціях відбувається зміна теплофізичних властивостей матеріалів. Волога, що проникає в огорожувальні конструкції, може погіршувати їхні теплоізоляційні властивості, оскільки вода має високу теплопровідність. Коли матеріали, наприклад, теплоізоляційні плити або стіни, насичуються вологою, вони стають більш провідними для тепла. Це означає, що через конструкцію, яка містить вологу, може відбуватися значний тепловий потік, що призводить до збільшення витрат енергії на обігрів або охолодження приміщення.

Завдяки своїй високій теплопровідності, вода здатна значно зменшувати ефективність теплоізоляційних матеріалів. Наприклад, під час проникнення води в мінераловатні плити, пінополістирол чи інші утеплювачі, матеріал стає більш провідним до тепла, в результаті чого порушується теплоізоляція. Вологе утеплення втрачає свої теплоізоляційні властивості, і будівля втрачає енергію, що необхідна для підтримки комфортної температури в приміщеннях. Крім того, матеріали з підвищеною вологістю можуть набирати вагу, що також впливає на загальну теплотехнічну ефективність конструкцій.

Волога може проникати в огорожувальні конструкції різними шляхами. На це впливають брак або дефекти гідроізоляції, конденсація пари, негерметичні шви між матеріалами або проникнення води ззовні через тріщини та інші пошкодження. У разі тривалого контакту з водою матеріали не тільки втрачають свої теплоізоляційні характеристики, але й можуть підлягати фізичним або хімічним змінам, таким як корозія металевих елементів або розпад органічних матеріалів, що також позначається на їх термальних характеристиках.

Для зменшення впливу вологи на теплозахисні характеристики необхідно застосовувати спеціальні рішення, які забезпечують належний захист від проникнення вологи в конструкції. Одним з таких рішень є використання гідроізоляційних матеріалів, що забезпечують бар'єр для води, запобігаючи її проникненню в ізоляційні шари. Крім того, важливо ретельно проєктувати систему вентиляції, щоб забезпечити ефективний обмін повітря і уникнути утворення конденсату в конструкціях.

Вологість в огорожувальних конструкціях також може призводити до погіршення їх стійкості до механічних навантажень. Волога, що міститься в будівельних матеріалах, змінює їх фізичні властивості, погіршуючи міцність і пружність, що особливо важливо в умовах впливу на будівлю сильних вітрів або інших навантажень.

Необхідно також зазначити, що волога впливає не тільки на теплоізоляційні матеріали, але й на конструктивні елементи будівлі. Якщо волога проникає в стіни, дахи або інші конструкції, це може призвести до змін у механічних характеристиках матеріалів, таких як зменшення міцності або утворення тріщин у конструкціях. З часом це може стати причиною руйнування частин будівлі, що позначається на загальній енергоефективності та довговічності будівлі.

Загалом для підтримки високих теплозахисних характеристик огорожувальних конструкцій необхідно контролювати вологість у матеріалах і своєчасно вживати заходів для її зменшення. До цього входить не тільки використання сучасних теплоізоляційних матеріалів, а й заходи, що сприяють правильному функціонуванню гідроізоляції та вентиляції будівель.

Питання для самоконтролю

1. Як волога впливає на теплопровідність матеріалів в огорожувальних конструкціях?
2. Які наслідки для енергетичної ефективності будівлі має проникнення вологи в теплоізоляційні матеріали?

3. Яким чином волога може проникати в огорожувальні конструкції?
4. Які матеріали забезпечують захист від проникнення вологи в будівельні конструкції?
5. Як волога впливає на механічні властивості будівельних матеріалів і їхню стійкість до навантажень?

Лекція 16 Методи регулювання вологості повітря в житлових і промислових будівлях

Регулювання вологості повітря є важливим аспектом створення комфортного та здорового мікроклімату як у житлових, так і в промислових будівлях. Підтримка оптимального рівня вологості має ключове значення для забезпечення добробуту людей, ефективної роботи технічних систем, а також для збереження конструкцій і матеріалів будівель.

Вологість повітря визначає кількість водяної пари в повітрі, і вона повинна перебувати в межах певних значень для підтримання нормальних умов життєдіяльності та збереження будівельних матеріалів. Висока вологість може призвести до утворення плісняви та грибка, погіршення якості повітря, а також до корозії металевих елементів конструкцій. Низька вологість може сприяти пересиханню матеріалів, пошкодженню меблів і технологічного обладнання, а також негативно впливати на здоров'я людей, викликаючи сухість шкіри та дихальних шляхів.

Основними методами регулювання вологості повітря є вентиляція, кондиціонування, використання осушувачів і зволожувачів, а також система контролю і автоматичного управління мікрокліматом. Кожен з цих методів можна застосувати залежно від умов приміщення, типу будівлі та вимог до комфортного клімату.

Вентиляція. Один з найважливіших методів регулювання вологості в приміщеннях – це забезпечення належної вентиляції. Природна або механічна вентиляція дозволяє забезпечити постійну циркуляцію повітря, що допомагає вивести надлишкову вологу і підтримувати її оптимальний рівень. Вентиляційні

системи можуть бути автоматизованими для підтримання сталого рівня вологості, що особливо важливо в приміщеннях з високими вимогами до клімату, таких як житлові будинки, офіси, а також промислові об'єкти.

Кондиціонування. Кондиціонери використовуються для зменшення вологості повітря в приміщеннях, особливо в умовах спекотного клімату або в приміщеннях із високим рівнем вологості, таких як підвальні або складські приміщення. Охолодження повітря призводить до конденсації водяної пари, що, зі свого боку, зменшує вологість у приміщенні. Проте важливо враховувати, що кондиціонери можуть зменшувати вологість занадто сильно, що може призвести до дискомфорту, тому система повинна бути налаштована на оптимальний рівень вологості.

Зволожувачі. У випадку, коли вологість повітря є занадто низькою, наприклад, у холодні зимові місяці, зволожувачі допомагають підтримувати необхідний рівень вологості. Зволожувачі працюють за принципом випаровування води у повітря, підвищуючи рівень вологості і забезпечуючи більш комфортні умови для людей, а також для збереження меблів, дерев'яних конструкцій та інших матеріалів, що можуть страждати від пересихання.

Осушувачі. У випадках високої вологості повітря осушувачі допомагають усунути надлишкову вологу, витягуючи її з повітря. Це може бути корисно в приміщеннях з підвищеною вологістю, таких як ванні кімнати, підвали, пральні та інші простори, де може утворюватися конденсат. Осушувачі застосовуються для забезпечення оптимальних умов зберігання продукції, для підтримки технічних систем і для запобігання пошкодженню конструкцій.

Системи автоматичного контролю мікроклімату. До найсучасніших методів регулювання вологості належать автоматичні системи управління мікрокліматом, які містять сенсори для контролю температури і вологості повітря. Такі системи можуть автоматично регулювати роботу вентиляційних, кондиціонувальних і осушувальних систем, а також зволожувачів. Це дозволяє досягти найкращого результату без необхідності ручного втручання, зберігаючи оптимальні умови для людей і будівельних матеріалів.

Гідроізоляція та матеріали, що поглинають вологу. Для ефективного регулювання вологості в будівлях необхідно застосовувати також матеріали, які можуть поглинати або відводити вологу. Наприклад, спеціальні гідроізоляційні матеріали можуть допомогти уникнути проникнення зайвої вологи у стіни, підлоги та дахи. У поєднанні з іншими методами це дозволяє забезпечити оптимальні умови в приміщеннях.

Правильне регулювання вологості повітря в будівлях є важливим не лише для комфортного перебування людей, але й для забезпечення довговічності будівельних матеріалів та технічних систем. Підтримка стабільного рівня вологості допомагає запобігти проблемам з корозією, грибками, пліснявою та іншими проблемами, які можуть виникнути внаслідок неправильної вологісної ситуації.

Питання для самоконтролю

1. Яким чином вентиляція допомагає регулювати рівень вологості в приміщенні?
2. У яких випадках кондиціонери можуть бути корисними для зменшення вологості?
3. Які наслідки можуть виникнути від надмірно низької вологості повітря в приміщенні?
4. Як осушувачі допомагають в контролі вологості в приміщеннях?
5. Які переваги має використання автоматичних систем контролю мікроклімату для регулювання вологості?

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: 10.05.2025).
2. Rong Liu and all, Tunnel construction ventilation frequency-control based on radial basis function neural network, Automation in Construction, Vol. 118, October 2020, 103293. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103293> (date of the application: 10.05.2025).
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: 10.05.2025).
5. Ming-Rui Luo and all, Effect of tunnel ventilation on surrounding rock temperature field and heat regulating circle during construction phase, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 150, August 2024, 105835. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2024.105835> (date of the application: 10.05.2025).
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: 10.05.2025).

Електронне навчальне видання

БУРДА Юрій Олександрович

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕПЛОТЕХНІКИ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування галузі знань 13 – Механічна інженерія, освітня програма «Галузеве машинобудування»)

Відповідальний за випуск Ю. І. Чайка

Редактор Б. О. Хільська

Комп'ютерне верстання Ю. О. Бурда

План 2025, поз. 237Л

Підп. до друку 23.05.2025. 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.