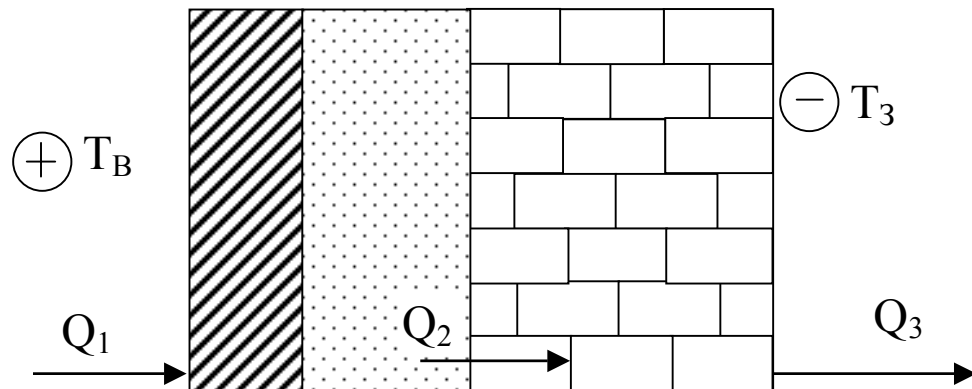


**Г.С. Ратушняк, Г.С. Попова**

# **БУДІВЕЛЬНА ТЕПЛОФІЗИКА**



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**Г.С. Ратушняк, Г.С. Попова**

## **БУДІВЕЛЬНА ТЕПЛОФІЗИКА**

Затверджено Вченою радою Вінницького державного технічного університету як навчальний посібник для студентів спеціальності “Теплогазопостачання та вентиляція”. Протокол № 11 від 25 червня 2003 р.

Вінниця ВНТУ 2004

Міністерство науки і освіти України  
Вінницький державний технічний університет

Г.С. Ратушняк, Г.С. Попова

## **БУДІВЕЛЬНА ТЕПЛОФІЗИКА**

Навчальний посібник

Всі цитати, цифровий, фактичний  
матеріал та бібліографічні відомості  
перевірені  
Написання одиниць відповідає  
стандартам

Зауваження рецензентів враховані

Автори:                   Г.С. Ратушняк  
                                  Г.С. Попова

Вимогам, які пред'являються  
до інструктивно-методичної  
літератури відповідає.

До друку і в світ дозволяю на  
основі § 2 п. 15 “Єдиних пра-  
вил...”

Проректор з навчальної та  
науково-методичної роботи

\_\_\_\_\_ В.О. Леонт'єв

Затверджено на засіданні  
кафедри ТГП  
Протокол № 20 від 3.06.2003р.

Зав. кафедрою ТГП

Вінниця ВДТУ 2003

УДК 628.85/697.1

Р 25

**Рецензенти:**

*Дудар І.Н.*, доктор технічних наук, професор (ВНТУ)

*Пономарчук А.Ф.*, доктор технічних наук, професор (ВНТУ)

*Ковальчук О.В.*, кандидат технічних наук, доцент (ВДПУ)

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти і науки України

**Ратушняк Г.С., Попова Г.С.**

**Р 25 БУДІВЕЛЬНА ТЕПЛОФІЗИКА** /Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 119 с.

В посібнику розглянуті загальні теоретичні відомості з теплофізики. Викладені теоретичні основи теплообміну в приміщеннях та повітряного й вологісного режимів будинків. Розглянуто особливості зимового й літнього теплових режимів приміщень.

УДК 628.85/697.1

© Г.С. Ратушняк,  
Г.С. Попова, 2004

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Ратушняк Георгій Сергійович – професор кафедри теплоенергетики та газопостачання та інженерного забезпечення будівництва, кандидат технічних наук є автором понад 180 опублікованих наукових та навчально-методичних робіт, в тому числі 22 винаходів. На основі 30-річного науково-педагогічного досвіду підготував і опублікував 45 навчально-методичних посібників, серед яких 7 навчальних посібників для студентів вузів будівельних спеціальностей.

Наукові інтереси Ратушняка Г.С. направлені на розробку енерго- й ресурсозберігаючих технологій, методологій й технічних засобів з раціонального використання природного середовища в результаті антропогенної діяльності. Займається вирішенням проблеми педагогіки, що пов'язана з активізацією пізнавальної діяльності студентів шляхом впровадження прогресивних технологій навчання. Лауреат першої міністерської премії “За досягнення в навчально-виховній та науково-педагогічній роботі” та обласної педагогічної премії. Є дійсним членом Академії будівництва України, професором Міжнародної Кадрової Академії.

Попова Галина Сергіївна – старший викладач кафедри теплоенергетики та газопостачання і інженерного забезпечення будівництва є автором більше 20 опублікованих наукових та навчально-методичних робіт, в тому числі 2 навчальних посібників. Приділяє значну увагу впровадженню в навчальний процес прогресивних технологій навчання, що базуються на використанні сучасних досягнень науки й техніки.

*Навчальне видання*

Георгій Сергійович Ратушняк  
Галина Сергіївна Попова

## **БУДІВЕЛЬНА ТЕПЛОФІЗИКА**

Навчальний посібник

Оригінал-макет підготовлено Ратушняком Г.С.

Редактор О.Д. Скалоцька

Навчально-методичний відділ ВНТУ  
Свідоцтво Держкомінформу України  
серія ДК № 746 від 25.12.2001  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку  
Формат 29,7×42<sup>1</sup>/<sub>4</sub>  
Друк різнографічний  
Тираж прим.  
Зам №

Гарнітура Times New Roman  
Папір офсетний  
Ум. друк. арк. 3.22

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі Вінницького національного технічного університету  
Свідоцтво Держкомінформу України  
серія ДК № 746 від 25.12.2001  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95

## **БУДІВЕЛЬНА ТЕПЛОФІЗИКА**

Уклад. Г.С. Ратушняк, Г.С. Попова. – Вінниця: ВДТУ, 2003. - с.

Наводяться

Укладачі: Ратушняк Георгій Сергійович  
Попова Галина Сергіївна

Редактор О.Д. Скалоцька

Відповідальний за випуск зав. кафедрою ТГП Г.С. Ратушняк

Рецензенти: І.Н. Дудар, д.т.н., професор  
А.Ф. Пономарчук, д.т.н., професор  
І.М. Півошенко, канд. географічних наук, професор

## ЗМІСТ

Передмова . . . . .	5
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ З ТЕПЛОФІЗИКИ . . . . .	6
1.1 Загальні відомості про будівельну теплофізику . . . . .	6
1.2 Клімат . . . . .	7
2 ТЕПЛООБМІН В ПРИМІЩЕННЯХ . . . . .	15
2.1 Теплообмін людини з належним середовищем у приміщенні . . . . .	15
2.2 Мікроклімат приміщення . . . . .	15
2.3 Тепловий режим будинку . . . . .	17
2.4 Основи теплопередачі . . . . .	18
2.5 Теплопередача через захисні конструкції . . . . .	21
2.6 Значення основних характеристик теплопередачі через захисну конструкцію . . . . .	25
2.7 Теплозахисні властивості захисних конструкцій . . . . .	27
2.8 Визначення температур у будь-якій площині багат шарової захисної конструкції в умовах стаціонарної теплопередачі . . . . .	29
2.9 Термічний опір повітряних прошарків . . . . .	31
2.9.1 Розрахунок термічного опору вертикальних герметичних повітряних прошарків . . . . .	32
2.9.2 Розрахунок термічного опору горизонтальних герметичних повітряних прошарків . . . . .	33
2.9.3 Значення термічних опорів замкнутих повітряних прошарків . . . . .	34
2.10 Теплотехнічний розрахунок світлових прорізів . . . . .	35
2.11 Рішення стаціонарних задач теплопередачі через захисні конструкції при двомірному температурному полі . . . . .	35
2.11.1 Опір теплопередачі неоднорідних конструкцій . . . . .	36
2.11.2 Визначення температури внутрішньої поверхні у зовнішньому куті . . . . .	41
2.12 Визначення температур при наявності теплопровідних включень . . . . .	42
2.13 Розрахунок нестаціонарних процесів теплопередачі через захисні конструкції . . . . .	42
2.13.1 Інженерний метод розрахунку теплостійкості захисної конструкції . . . . .	43
2.13.2 Теплова інерція захисної конструкції . . . . .	48
2.13.3 Характерні випадки визначення коефіцієнта теплозасвоєння . . . . .	50
2.13.4 Розрахунок теплостійкості захисної конструкції у літній період . . . . .	51
2.13.5 Розрахунок теплостійкості приміщень у зимовому режимі експлуатації . . . . .	54
2.13.6 Теплозасвоєння поверхні підлоги . . . . .	57



2.14	Оцінювання фактичної величини опору теплопередачі зовнішніх захисних конструкцій . . . . .	58
3	ПОВІТРЯНИЙ РЕЖИМ БУДИНКІВ . . . . .	64
3.1	Повітропроникність конструкції . . . . .	64
3.2	Повітряний режим будинку . . . . .	66
3.3	Врахування повітряного режиму будинку при виборі основних схем опалення та вентиляції . . . . .	71
4	ВОЛОГІСНИЙ РЕЖИМ БУДИНКІВ . . . . .	73
4.1	Вплив вологісного режиму на теплозахисні властивості конструкції . . . . .	73
4.2	Основні розрахункові параметри вологісного режиму . . . . .	74
4.3	Визначення вологісного стану конструкції графоаналітичним методом . . . . .	75
4.4	Особливості розрахунків при конденсації водяної пари на поверхні захисної конструкції . . . . .	77
5	ОСОБЛИВОСТІ ЗИМОВОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ ПРИМІЩЕННЯ . . . . .	80
5.1	Забезпечення розрахункових умов для зимового теплового режиму . . . . .	81
5.2	Характеристики зовнішнього клімату, які приймають до розрахунків . . . . .	81
5.3	Захисні властивості зовнішніх захисних конструкцій . . . . .	82
5.4	Визначення найбільших втрат тепла приміщенням . . . . .	83
5.5	Теплопередача опалювального приладу. . . . .	84
5.6	Охолодження приміщення при відключенні опалення . . . . .	87
5.7	Теплова характеристика будинку . . . . .	88
6	ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ БУДИНКІВ У ЛІТНІЙ ПЕРІОД . . . . .	92
6.1	Вибір розрахункових умов для літньої пори року . . . . .	92
6.2	Вплив сонячної радіації на захисні конструкції . . . . .	93
6.3	Теплотехнічний розрахунок захисних конструкцій на літні умови . . . . .	95
6.4	Нормування теплостійкості захисних конструкцій . . . . .	98
	Список літератури . . . . .	100
	Додатки . . . . .	101

## Передмова

Актуальними проблемами сьогодення є використання природних ресурсів та гармонізація взаємин людини і природи. Надмірне використання людством природних ресурсів веде до погіршення навколишнього середовища. Вихід з цього становища єдиний – збалансоване та науково-обґрунтоване використання можливостей довкілля.

На опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання в житлово-комунальному господарстві та паропостачання промислових підприємств щорічно витрачаюся всі добуті в нашій країні паливно-енергетичні ресурси та до 57% спожитих паливних ресурсів закуповується за кордоном. Найбільша економія теплових ресурсів, до 50%, може бути забезпечена при використанні сучасних будівельних захисних конструкцій з підвищеним термічним опором. Теплопередача й зниження споживання теплової енергії за рахунок підвищення термічного опору захисних конструкцій будівель вигідно державі та населенню. Адже витрати на купівлю або видобуток однієї тонни органічних енергоресурсів більше ніж у двічі перевищують затрати на заходи, що спрямовуються на економію однієї тонни умовного палива.

Проблема якісної теоретичної й практичної підготовки інженерів-будівельників знаходиться в тісному взаємозв'язку з отриманням ними знань раціонального використання теплоенергетичних ресурсів шляхом проектування, будівництва й експлуатації будівель та споруд з оптимальними тепловологісними характеристиками в теплий та холодний періоди року. Вирішення цієї задачі досягається відповідним методичним забезпеченням навчального процесу, яке дозволяло б отримувати навички й уміння моделювати теплотехнічні характеристики вологісного стану та повітропроникності захисних конструкцій будівель.

В навчальному посібнику наведені загальні відомості з теплофізики, розглядаються питання теплообміну в приміщеннях, повітряний та вологісний режими будинків, характеризуються особливості теплового режиму приміщень в зимовий та літній періоди року. При викладенні матеріалу навчального посібника використані сучасна нормативна база України, результати наукових досліджень та досвід викладання цієї дисципліни в провідних вузах. Посібник призначений активізувати самостійну роботу студентів, а тому супроводжується відповідними прикладами та додатками.

Автори щиро вдячні рецензентам за поради та зауваження, врахування яких сприяло покращанню змісту навчального посібника, а також інженеру обчислювального центру Франишиній Т.О. за комп'ютерний набір та верстку.

# 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ З ТЕПЛОФІЗИКИ

## 1.1 Загальні відомості про будівельну теплофізику

**Будівельна теплофізика** – наука, яка вивчає явища передачі тепла, переносу вологи, фільтрації повітря, які пристосовані до будівництва.

Будівельна теплофізика розглядає теплофізичні процеси, які протікають у захисних конструкціях в умовах експлуатації будинків і споруд та розробляє методи розрахунків, мета яких – створення захищень, які задовольняють певним теплотехнічним вимогам.

Будівельна теплофізика, як наукова дисципліна, ще молода. Вона почала розвиток з 20-х років (виділилась як окрема дисципліна з розділу загальної будівельної науки). Значний внесок в її розвиток зробили інженери-будівельники та інженери-теплотехніки: В.М. Мачинський, Г.А. Селівестров, В.М. Ільїнський, Н.С. Єрмолаєв та ін.

В 50-х роках в будівельній теплофізиці в зв'язку з дослідженнями А.В. Ликова та його фізико-математичної школи відбулися якісні зміни. Складні теплофізичні задачі в будівництві починають розв'язувати сучасними математичними і фізичними методами з використанням теорії подібності, методів аналогії і т.д.

В цій дисципліні фізичні питання тісно пов'язані з технічними тому, що розрахунки можливого розвитку фізичних процесів потребують прийняття оптимального технічного рішення.

Для розгляду процесів тепло- і масообміну, які мають місце при формуванні мікроклімату приміщень, необхідно знати:

- вимоги до характеристик внутрішнього клімату і фактори, які на них впливають;
- закони взаємодії захисних конструкцій з внутрішнім і зовнішнім середовищем;
- тепло- і масообмінні процеси на поверхнях, які підігріваються і охолоджуються в потоках повітря та в умовах кондиціонування в приміщеннях;
- явища, які відбуваються в конструкціях і матеріалах при передачі через них тепла, вологи та повітря;
- характеристики зовнішнього клімату та закони їх змін;
- річні режими роботи і споживання енергії в будинках.

В зв'язку із такою постановкою питання в будівельній теплофізиці використовують відомості з теорії тепломасообміну, теплопередачі, теорії подібності, термодинаміки вологого повітря, термодинаміки необернених процесів, кліматології та ін.

В світі здійснюються величезні витрати енергії, які постійно збільшуються. Кожного дня іде на опалення те, що Земля накопичувала тисячу років. За оцінкою міжнародних організацій, витрати енергоресурсів на початку XXI сторіччя складають 18-21 млрд.тонн умовного палива (приблизно 80% органічного палива, 7% гідроенергії і 13% атомної енергії).

Витрати палива на теплопостачання будинків складає 40% від палива, яке добувають взагалі. При цьому на житлові і цивільні будинки – 26%. Основні споживачі енергії в будинках – це системи опалення, кондиціонування та гарячого водопостачання. Витрати енергії на опалення житлових будинків складають 11% від загальної витрати енергії України, на опалення комерційних будинків ще 6,9%, а на кондиціонування комерційних будинків 22,5% загальної витрати енергії країни.

У 1995 р. Верховною Радою України створено Державний комітет з енергозбереження. У 1996 р. розроблена комплексна державна програма з енергозбереження (КДПЕ). Вона містить найважливіші заходи з питань енергозбереження, які дають вагомий народногосподарський ефект. Програма енергозбереження в будівництві першим пунктом розглядає питання підвищення теплоізоляції або інакше - підвищення термічних опорів стін і покрівлі, вікон, теплопроводів. За результатами впровадження таких заходів з енергозбереження в Україні передбачається економія паливно-енергетичних ресурсів в об'ємі 39 млн. тонн палива в умовному обчисленні.

Значення цієї дисципліни особливо велике для інженера-будівельника при широкому розповсюдженні в сучасному будівництві різних конструкцій захищень, які враховують питання енергозбереження.

Задача вивчення цієї дисципліни полягає в тому, щоб навчити майбутнього спеціаліста правильно встановлювати прогноз теплового, вологісного і повітряного режимів будівель, їх окремих приміщень і конструкцій, з тим, щоб прийняти оптимальні (з гігієнічної, технічної та економічної точок зору) рішення при їх проектуванні.

## 1.2 Клімат

**Клімат** – багаторічний режим погоди, характерний для даної місцевості, що визначається її географічним положенням.

Клімат характеризується однотипними показниками метеорологічних елементів над великими територіями.

Для врахування при проектуванні (особливо теплотехнічному) температурних і вологісних характеристик клімату в норми проектування будинків введено кліматичне районування території колишнього СРСР (від I до IV району), яке розділяється на підрайони з відповідною середньомісячною температурою повітря в січні та липні, середньомісячною вологістю повітря в червні та середньою швидкістю повітря за три зимові місяці.

Україна віднесена в основному до II кліматичного району та підрайону В, для якого середньомісячна температура повітря

в січні	від -4 до -14°C;
в червні	12 - 21°C;
середня відносна вологість повітря	більше 75%
середня швидкість вітру за три зимових місяці	5 і більше м/сек.;
розрахункова температура для проектування	- 21°C (рис. 1.1).



**I зона - 3501 градусів/дб та більше**  
**II зона - від 3301 до 3500 градусів/дб**  
**III зона - від 2501 до 3300 градусів/дб**  
**IV зона - 2500 градусів/дб та менше**

Рисунок 1.1 - Температурні зони території України

У 1993 році в Україні, наказом Мінбудархітектури України від 27.12.1993 р. № 247, затверджено нові нормативи опору теплопередачі зовнішніх захисних конструкцій житлових і громадських будівель і споруд для нового будівництва, реконструкцій і капітального ремонту для чотирьох температурних зон (відмінні від встановлених діючим СніП II-3-79\*\*). Значення нормативних опорів наведено в додатку А.

Температурні зони відрізняються одна від одної величиною градусодіб (ГСОП) опалювального періоду.

Зона будівництва (температурна зона) визначається за кількістю градусодіб опалювального періоду за табл. 1.1:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{оп.пер}}) \cdot z_{\text{оп.пер}}, \quad (1.1)$$

де  $t_{\text{оп.пер}}$  і  $z_{\text{оп.пер}}$  - середня температура та тривалість періоду із середньодобовою температурою зовнішнього повітря  $+8^{\circ}\text{C}$  і нижче, діб.

$t_{\text{в}}$  - розрахункова температура внутрішнього повітря, нормується в залежності від призначення приміщення,  $^{\circ}\text{C}$ .

Таблиця 1.1 – **Визначення зони будівництва в Україні**

I зона	II зона	III зона	IV зона
Кількість ГСОП			
> 3501	3001 - 3500	2501 – 3000	< 2500

В формулу (1.1) завжди підставляється  $t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{C}$ , так як нормовані опори теплопередачі встановлені для нормованого значення температури внутрішнього повітря  $+18^{\circ}\text{C}$ . Якщо розрахункова температура внутрішнього повітря більша (менша)  $+18^{\circ}\text{C}$ , то для усіх захисних конструкцій (крім вікон і балконних дверей) табличні значення збільшуються (зменшуються) в розмірі 5% на кожний градус.

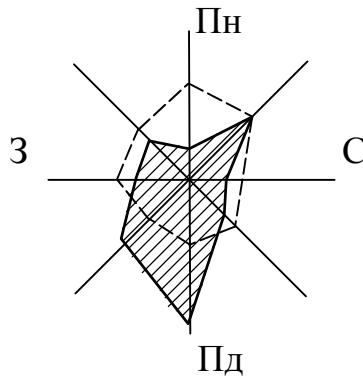
#### **Характеристики елементів клімату:**

**Вітер** – переміщення повітря, яке викликано нерівномірним розподіленням атмосферного тиску на земній поверхні, внаслідок нерівномірного нагріву поверхні Землі.

Рух повітря здійснюється в напрямку від високого тиску до низького. Чим більша різниця тиску, тим більша швидкість вітру. Критеріями вимірювання вітру є швидкість (м/с) і напрямок (Додаток Б).

Напрямок є горизонтальна складова потоку. За напрямком вітру приймають ту частину горизонту (румб), з боку якої рухається повітряний потік.

Багаторічні відомості про повітряний режим тієї чи іншої місцевості, якими можна оцінити повітряний клімат, прийнято зображати у вигляді “Рози вітрів”. В залежності від тривалості періоду дії розрізняють річну, сезонну та місячну рози вітрів. Поряд із розами вітрів, які характеризують напрямком, також використовують рози вітрів за повторенням вітру по напрямках, а також за швидкістю вітру. На рис. 1.2 наведено приклад рози вітрів за повторністю напрямку вітру та за швидкістю.



Показники	Орієнтація							
	Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
швидкість, м/с - - - -	13	5	3	5,2	6	7,7	10	3,2
повторність напрямку, % — — —	5	6	2	3	49	26	5	6

Рисунок 1.2 – Роза вітрів за повторністю напрямку вітру, %; за швидкістю, м/с

Розу вітрів будують на основі змін швидкості вітру на висоті 10-15 м від поверхні землі. Якщо збільшувати висоту, то збільшується і швидкість вітру. Швидкість і напрямок вітру змінюється в залежності від стану атмосфери, який може приймати такий характер: байдужа рівновага, нестійка рівновага, стійка рівновага. Байдужа рівновага характерна для однорідної температурної структури нижнього шару захищення; нестійка рівновага спостерігається при наявності різних шарів в будові атмосфери, при якій температура повітря залежить від висоти над поверхнею землі; стійка рівновага характеризується постійним станом атмосфери у визначену пору року (рис. 1.3).

Зміни швидкості і напрямку вітру в залежності від висоти над поверхнею землі наведені на рис. 1.4.

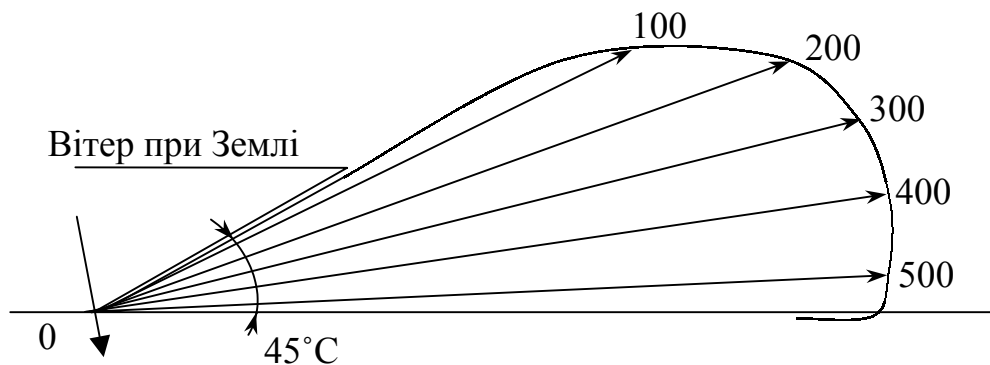


Рисунок 1.4 – Зміни швидкості і напрямку вітру в залежності від висоти над поверхнею землі

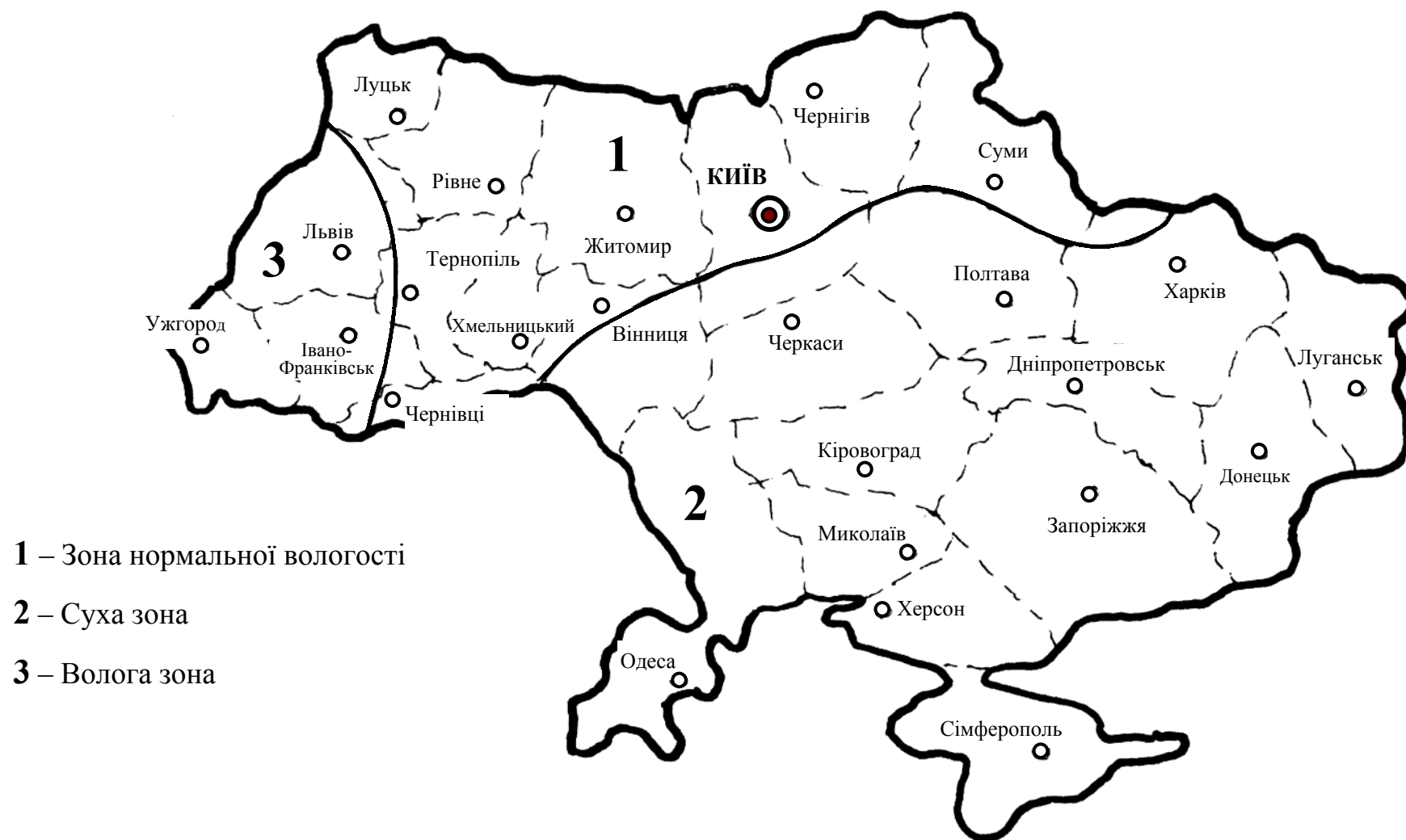


Рисунок 1.3 - Зони вологості території України



Вибір вітру, який впливає на забудову місцевості та на окремих будинках, має велике значення:

- при виборі санітарно-захисних зон для промислового і житлового районів міста;
- при аерації міських кварталів;
- при плануванні забудови (згідно з СНиП тепловтрати, які викликає дія вітру, складають в середньому 5% для захищень, які від вітру закриті і 1% для забудов, які не закриті від вітру). При великій швидкості вітру в холодні зимові місяці тепловтрати збільшуються до 30%;
- при обчисленні конструкцій (на міцність, вигин та інше).

### **Температура повітря**

Температуру зовнішнього повітря виміряють протягом року. Розрізняють середньомісячну температуру повітря, яка характеризує сезон; абсолютну температуру: середню максимальну і мінімальну, яка характеризує плюсову і мінусову температури вдень і вночі і т.д. (Додаток В).

Різниця температур між найхолоднішим і найтеплішим місяцями характеризує ступінь континентальності клімату. Ця різниця може бути виражена через **річну амплітуду коливань**  $A_{p1ч}$  середньомісячних температур атмосфери:

$$A_{p1ч} = t_{н.ж.м} - t_{н.х.м} , \quad (1.2)$$

де  $t_{н.ж.м}$  - середньомісячна температура найбільш жаркого місяця року, °С;  
 $t_{н.х.м}$  - середньомісячна температура найбільш холодного місяця року, °С.

Температура зовнішнього повітря наводиться в СНиП “Строительная климатология и геофизика” для відповідних міст та районів проектування.

### **Вологість повітря**

Розрізняють абсолютну та відносну вологість повітря.

Абсолютна вологість повітря  $f$ , характеризується кількістю вологи (в грамах), яка міститься в  $1 \text{ м}^3$  повітря.

При розрахунках режиму вологості користуються величиною парціального тиску водяної пари, яка має назву пружності водяної пари, в Па. При відповідній температурі і барометричному тиску пружність водяної пари збільшується до певної межі. Ця максимальна пружність водяної пари  $E$  залежить від температури. Чим більша температура повітря, тим більша буде  $E$ . Значення  $E$  наводиться в довідниках.

Відносна вологість повітря (виражає ступінь насиченості повітря вологою) виражається в відсотках (%) і дорівнює співвідношенню дійсної пружності водяної пари в повітрі  $e$  (Па) до максимальної її пружності  $E$  (Па):

$$\varphi = e / E \cdot 100 \% . \quad (1.3)$$

Зонування території на зони вологості: суха < 50%, волога 61-75%, нормальна 50-60%, мокра > 75%. (див. на карту рис. 1.3).

При деяких температурах, коли  $E$  дорівнює  $e$ , відносна вологість  $\varphi = 100\%$ . Така температура носить назву точки роси для даної вологості

повітря  $\tau_p$ . Якщо продовжити охолодження повітря нижче точки роси, то зайва кількість вологи буде конденсуватись (виділятись), тобто переходити у краплинорідкий стан.

Подібні явища можна побачити у природі у вигляді туманів (вранці або ввечері), а також взимку при зниженні температури повітря.

### Сонячна радіація

Кількість тепла від сонячної радіації залежить від географічної широти місцевості, стану сонячної атмосфери і шару землі, розташування поверхні і її орієнтації відносно сторін світу.

Тепловий потік радіації виражається в Вт/м<sup>2</sup>.

Для визначення прямої і розсіяної радіації використовують усереднені дані багаторічних спостережень метеостанцій. Вони характеризують найбільш достовірні надходження радіації з врахуванням хмарності та типового стану атмосфери над промисловим районом. Подібні відомості про надходження радіації наведені в СНиП 11-3-79\* Строительная теплотехника.

### Опади, сніговий покрив

Відомості про суму опадів за рік, максимальна кількість опадів за місяць, а також кількість днів у році із сніговим покривом та найбільшою середньою з декадних висот снігового покриву наводяться в довідниках і використовуються в розрахунках при проектуванні даху будинків, каналізації та ін.

Таблиця 1.2 – Характеристики кліматичних районів і підрайонів

Райони	Підрайони	ЗИМА		ЛІТО	
		Середня місячна температура повітря в січні, °С	Середня швидкість вітру за три зимових місяці, м/с	Середня місячна температура повітря в липні, °С	Середня місячна відносна вологість повітря в липні, %
1	2	3	4	5	6
I	IA	від -28 і нижче	-	від 12 до 21; в горах – від 0 до 21	-
	IB	від -28 і нижче	5 і більше	від 0 до +13	більше 75
	IV	від -14 до -28	-	від +12 до 21; в горах – від 0 до 21	-
	IG	від -14 до -28	5 і більше	від 0 до +13	більше 75
II	IIA	від -4 і нижче	5 і більше	від +8 до +12	більше 75
	IIБ	від -3 до -14	5 і більше	від +12 до +21	більше 75
	IIВ	від -4 до -14	-	від +12 до 21; в горах – від 0 до 21	-

Продовження табл.1.2

1	2	3	4	5	6
III	IIIА	від -14 до -20	-	від +21 до 25;	-
	IIIБ	від -5 до +2; в горах – від -4 до +2	-	від +21 до 25; в горах – від +12 до +25	-
	IIIВ	від -5 до -14	-	від +21 до 27	-
IV	IVА	від -4 до +2	-	від +31 і більше	30 і менше о 13 годині
	IVБ	від +2 до +6	-	від +22 до +25 або від +25 до +27	65 і більше о 13 годині
	IVВ	від -5 до +2 від -12 до +2	-	від +25 до +27 від +27 до +31	Більше 30 о 13 годині 30 і менше о 13 годині

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризуйте загальні відомості з будівельної теплофізики.
2. Наведіть, що потрібно знати при формуванні мікроклімату приміщень.
3. Визначіть, якими питаннями займається програма енергозбереження в будівництві.
4. Поясніть, що таке клімат.
5. Дайте характеристику клімату України.
6. Наведіть дані вітрового навантаження.
7. Як побудувати розу вітрів?
8. Наведіть дані температури зовнішнього повітря.
9. Визначити характеристики вологості повітря.
10. Що таке сонячна радіація?
11. Як впливають опади і сніговий покрив на розрахункові конструкції будинків?
12. Наведіть характеристики кліматичних районів і підрайонів.

## **2 ТЕПЛООБМІН В ПРИМІЩЕННЯХ**

### **2.1 Теплообмін людини з належним середовищем у приміщенні**

Людина, яка знаходиться в житлових, суспільних та промислових будинках, а також технологічні процеси, які здійснюються в промислових цехах, потребують підтримування в приміщеннях необхідних метеорологічних умов – певного мікроклімату. Захисні конструкції будинків захищають приміщення від безпосередніх атмосферних впливів. Відповідні умови утворюються з допомогою систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. В закритих приміщеннях в залежності від їх призначення і характеру роботи, яка в них здійснюється, створюються різні температурно-вологісні умови.

Організм людини, в результаті фізіологічних процесів постійно виробляє тепло. Це тепло передається зовнішньому середовищу, оскільки організм людини прагне зберегти постійну температуру (36,6°C).

Кількість тепла, яку виробляє організм людини, різна і залежить від віку, індивідуальних особливостей людини, ступеня важкості роботи; яку він виконує та ін. В спокійному стані доросла людина виробляє 88-105 Вт; при тяжкій роботі 300-460 Вт; при максимально можливих короткочасних навантаженнях - до 1000 Вт.

Основна частина цього тепла віддається зовнішньому середовищу і тільки невелика частина (менше 10%) витрачається в результаті природного обміну речовин.

Організм людини має систему терморегуляції і пристосовується до деяких змін кліматичних умов. Однак ця здібність організму обмежена, і тому метеорологічні параметри в приміщенні повинні постійно підтримуватись системами кондиціонування мікроклімату на визначеному рівні.

### **2.2 Мікроклімат приміщення**

Одним із призначень будинку, який проектується, є захист людей, обладнання та інвентарю, яке в ньому знаходиться, від шкідливих впливів природи. Це забезпечується створенням в приміщеннях внутрішнього клімату (мікроклімату), якість якого повинна відповідати сукупності технологічних та гігієнічних вимог.

Регульований мікроклімат в приміщеннях створюється:

- шляхами архітектурно-планувального або будівельного проектування, коли розглянуті питання узгодженості архітектури і клімату;
- використанням штучних засобів кліматизації приміщень: опалення, вентиляції і кондиціонування внутрішнього повітря. Ця задача розв'язується в тісній взаємодії з обраними характеристиками захисних конструкцій: стін, перекриттів, підлоги...

Дослідження показують, що при оптимальному теплотехнічному рішенні будинків витрати палива на підігрів цивільних будинків можна значно зменшити.

Мікроклімат в приміщенні утворюється повітряним і радіаційним режимами.

Повітряний режим - це взаємодії температури, вологи й руху повітря. При різних сполученнях ці три складові повітряного режиму здійснюють неоднакові фізіологічні дії на людину.

Радіаційний режим в приміщенні - це теплообмін випромінюванням, з одного боку, між людиною і оточуючою її захисною конструкцією (вікнами, стінами, підлогою, стелею) та з іншого боку, між людиною і зовнішнім простором (через відкриті отвори).

Основними параметрами, які визначають мікроклімат приміщення є температура і вологість внутрішнього повітря, швидкість руху повітря, барометричний тиск та інтенсивність теплового випромінювання.

Ці параметри визначають метеорологічні умови як кожний окремо, так і в різних співвідношеннях, і впливають на функціональну діяльність людини, його самопочуття та здоров'я.

Так, збільшення швидкості руху повітря зменшує шкідливі дії підвищеної температури та збільшує дії низької; підвищення вологості повітря посилює дії як низької, так і підвищеної температури. Тому, в одних випадках сполучення метеорологічних факторів створює сприятливі умови для нормального протікання життєвих функцій організму, а в інших - несприятливі.

Оптимальні мікрокліматичні умови - це таке сполучення параметрів мікроклімату, яке при тривалому і систематичному впливі на людину забезпечує збереження нормального функціонального і теплового стану організму і не викликає значного навантаження терморегуляційного апарату працівника.

Допустимі мікрокліматичні умови - це таке поєднання параметрів мікроклімату, яке при тривалому і систематичному впливі на людину може викликати зміни функціонального і теплового стану організму, що проходять і швидко нормалізуються, а також не виходять за межі фізіологічних пристосованих можливостей. При цьому не відбувається погіршення стану здоров'я, але може з'явитися відчуття дискомфорту, погіршення самопочуття й зниження працездатності.

Комфортний стан людини визначається в основному балансом, інакше взаємодією надходження та витрат тепла в відрізок часу, який визначено. Для забезпечення цього балансу при різних температурних впливах на людину вирішальне значення мають заходи регулювання мікроклімату приміщення, їх вміле і економічне використання при проектуванні.

Вимоги до мікроклімату регламентуються Державними Будівельними нормами (ДБН) та залежать від призначення і особливості технологічних процесів, а також від місцевих особливостей клімату.

При виборі заходів теплозахисту необхідно враховувати розташування будинків на майданчику, кількість поверхів, типи захисних конструкцій, ступінь і конструкцію застосування та ін.

### 2.3 Тепловий режим будинку

Тепловим режимом будинку називається сукупність всіх факторів і процесів, які визначають теплову обстановку в його приміщеннях.

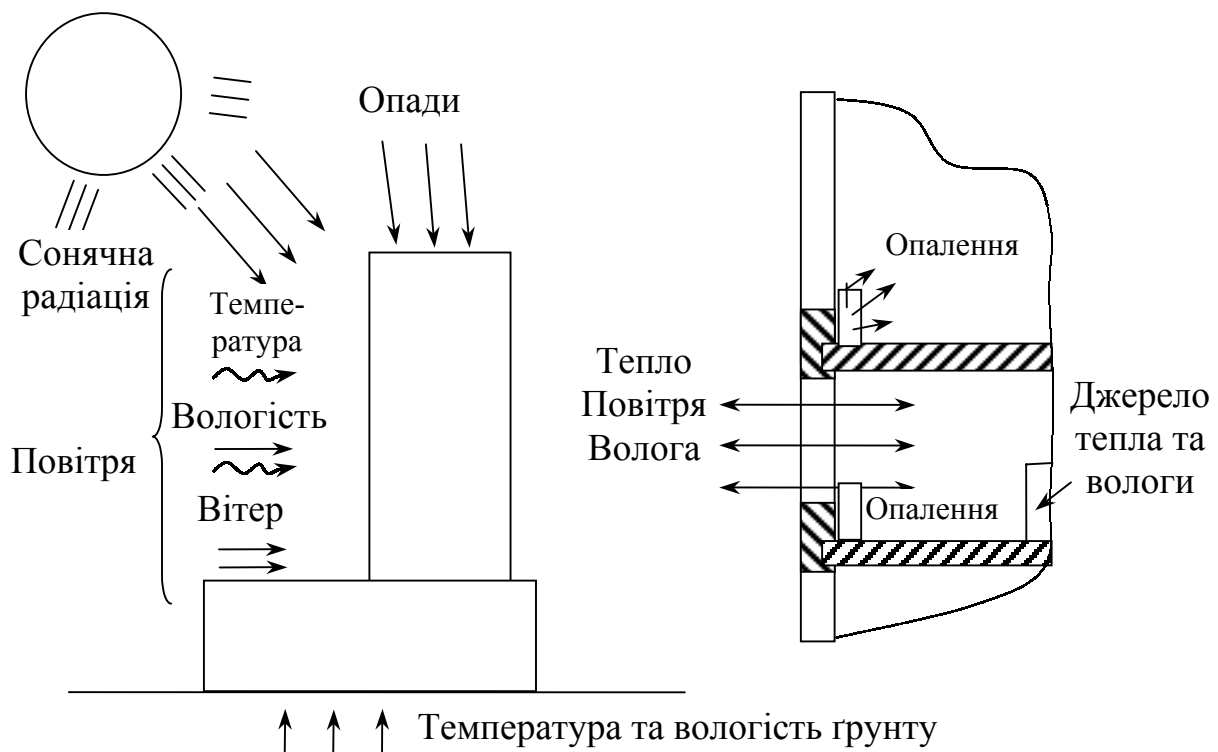


Рисунок 2.1 - Різні види впливів на тепловий, повітряний та вологісний режими в приміщеннях будинку

Приміщення будинку ізольовані від зовнішнього середовища захисними конструкціями, що дозволяє створити в них визначений мікроклімат. Зовнішні захисні конструкції захищають приміщення від безпосередніх атмосферних впливів, а спеціальні системи кондиціонування підтримують визначені задані параметри внутрішнього середовища.

Сукупність всіх інженерних засобів та пристроїв, які забезпечують задані умови мікроклімату в приміщеннях будинків (захисні конструкції, сонцезахисні пристрої, інші конструктивно-планувальні засоби, а також системи опалення - охолодження, вентиляції, кондиціонування повітря), називаються системою кондиціонування мікроклімату (СКМ).

Під дією різниці зовнішньої та внутрішньої температур, сонячної радіації та вітру приміщення втрачає тепло через захисну конструкцію взимку та нагрівається влітку. Гравітаційні сили дії вітру та вентиляції створюють перепади тиску, які приводять до перетікання повітря між приміщен-

нями, які між собою сполучені, та до його фільтрації через пори матеріалу та нещільності захисної конструкції. Атмосферні опади, вологовиділення в приміщеннях, різниця вологості внутрішнього та зовнішнього повітря призводять до вологообміну через захисні конструкції, під впливом якого можливе зволоження матеріалу та погіршення захисних властивостей та довговічності зовнішніх стін та покриття.

Умови, які формують тепловий режим приміщення, необхідно розглядати в сполученні між собою. Їх взаємний вплив може бути суттєвим.

## 2.4 Основи теплопередачі

Теплопередача є фізичним процесом обміну тепла через стіну між середовищами, які мають різну температуру. Цей процес складається з трьох елементарних видів обміну теплом: теплопровідності, конвекції та випромінювання.

**Теплопровідність** – умовно можна представити як передачу тепла в тілі від одної частинки до другої, коли немає їх переміщення. Таким чином, здійснюється передача тепла в твердих тілах. В рідинах та газах явище теплопровідності в чистому вигляді можливе тільки в умовах, коли немає переносу частинок.

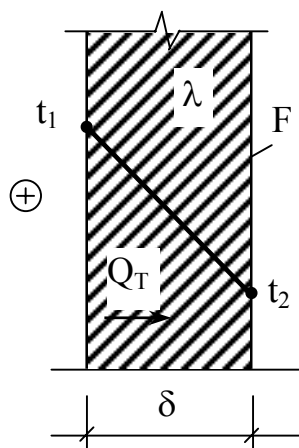
Згідно з законом Фур'є густина теплового потоку  $g_T$  Вт/м<sup>2</sup> в тілі, де передача тепла здійснюється шляхом теплопровідності, пропорційна градієнту температури  $\partial t/\partial n$ , °С/м:

$$g_T = -\lambda \cdot \partial t/\partial n, \quad (2.1)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності, який вимірюється в Вт/(м·°С). (Додаток Г).

У випадку, коли передача тепла здійснюється в стаціонарних умовах (не змінюється за часом) через плоску однорідну стіну в напрямку, який перпендикулярний до її поверхні (однорідне температурне поле), рівняння теплопровідності можна записати у вигляді:

$$Q_T = \lambda/\delta \cdot (t_1 - t_2) \cdot F, \quad (2.2)$$



де  $Q_T$  - тепловий потік, Вт;

$\delta$  - товщина стіни, м;

$t_1$  і  $t_2$  - температура на її поверхні, °С;

$F$  - площа поверхні стіни, м<sup>2</sup>;

$\alpha_T$  - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м<sup>2</sup>·°С):

$$\alpha_T = \lambda/\delta. \quad (2.3)$$

Рисунок 2.2 - Передача тепла теплопровідністю

**Конвективний теплообмін** – це перенесення тепла в рідинах та газах між частинками, які переміщуються.

За конвекцією здійснюється обмін теплом між поверхнею твердого тіла і повітрям, яке охоплює цю поверхню.

Конвективний теплообмін визначається законом Ньютона, згідно з яким тепловий потік:

$$Q_k = \alpha_k \cdot (t_1 - t_2) \cdot F, \quad (2.4)$$

де  $\alpha_k$  - коефіцієнт конвективного теплообміну, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$t_1$  і  $t_2$  - температури поверхні і повітря, °С.

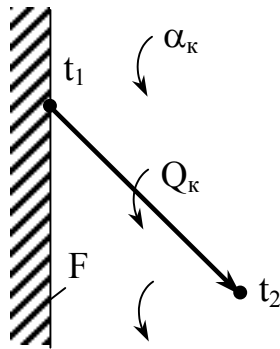
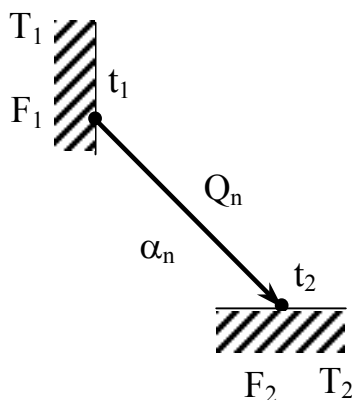


Рисунок 2.3 - Передача тепла конвекцією

**Променевий теплообмін** здійснюється за допомогою електромагнітних хвиль між тілами, які роз'єднані променепровідним середовищем. Теплова енергія, яка на поверхні тіла перетворюється в променисту енергію, передається через променепровідне середовище (повітря) на поверхню іншого тіла, де знову перетворюється в теплову.

За законом Стефана-Больцмана тепловий потік:

$$Q_{\Pi} = C_{\Pi\Pi} \cdot \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F_1 \varphi_{1-2}, \quad (2.5)$$



де  $C_{\Pi\Pi}$  – приведений коефіцієнт випромінювання системи тіл, між якими здійснюється променевий теплообмін, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);

$\varphi_{1-2}$  - коефіцієнт випромінювання (величина безрозмірна, яка залежить тільки від розташування і розмірів поверхні і яка показує долю променевого потоку, який впливає на поверхню  $F_2$  від загального потоку, який випромінює поверхня  $F_1$ ).

Рисунок 2.4 - Передача тепла випромінюванням



Найчастіше для розрахунків променевого теплообміну користуються формулою

$$Q_n = \alpha_n \cdot (t_1 - t_2) \cdot F_1, \quad (2.6)$$

де  $\alpha_n$  - коефіцієнт променевого теплообміну на поверхні  $F_1$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  
 $t_1$  і  $t_2$  - температура двох поверхонь, між якими здійснюється теплообмін, °С.

Розглянуті види обміну теплом практично не зустрічаються окремо. Їх доцільно розглядати в сукупності як єдине ціле. Цей єдиний процес передачі тепла від одного середовища до іншого називають **теплопередачею**.

Тепловий потік:

$$Q = \kappa \cdot (t_1 - t_2) \cdot F, \text{ Вт} \quad (2.7)$$

Тепловий потік  $Q$  передається від середовища, яке має температуру  $t_1$ , до середовища, яке має температуру  $t_2$ ;

$\kappa$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

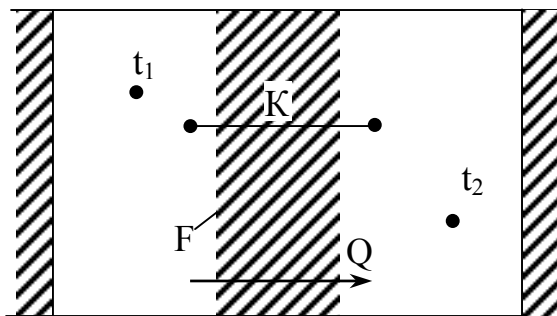


Рисунок 2.5 - Теплопередача

Відношення  $\lambda/\delta$  називають тепловою провідністю стінки, а обернена величина  $\delta/\lambda$  - тепловий або термічний опір теплопровідності стінки.

В формулах (2.2) – (2.7) – коефіцієнти  $\alpha$ ,  $\alpha_k$ ,  $\alpha_n$ ,  $\kappa$  - служать показниками пропорційності тепла.

На практиці зручніше використовувати не показники, які проводять тепло, а обернені до них величини – опір обміну теплом, відповідно:

- опір теплопровідності:  $R_T = \delta/\lambda$ , (2.8)

- опір конвективному теплообміну  $R_K = 1/\alpha_K$ , (2.9)

- опір променевому теплообміну  $R_{\Pi} = 1/\alpha_{\Pi}$ , (2.10)

- опір теплопередачі  $R = 1/\kappa$  (2.11)

Коли термічні опори  $R_i$  розташовані послідовно за напрямком руху потоку тепла, то

$$R = \sum R_i, \quad (2.12)$$

$$R_0 = R_B + R_T + R_3 \quad (2.13)$$

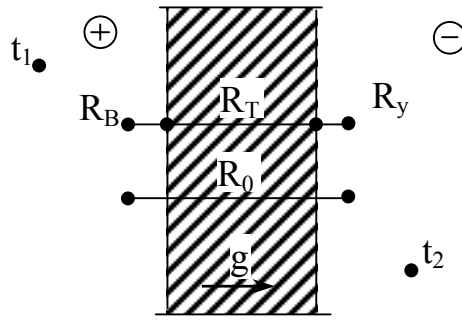


Рисунок 2.6 – Загальний опір теплопередачі

Якщо опори розташовані паралельно відносно потоку тепла, який через них проходить, то загальний опір такої системи

$$1/R_0 = \sum 1/R_i . \quad (2.14)$$

## 2.5 Теплопередача через захисні конструкції

В практичних розрахунках температуру внутрішнього повітря приймають рівною температурі поверхні внутрішньої захисної конструкції ( $t_B = t_R$ ), тоді тепловий потік:

$$Q_1 = [\alpha_k (t_B - \tau_B) + \alpha_n (t_B - \tau_B)] \cdot F = \alpha_B (t_B - \tau_B) \cdot F, \quad (2.15)$$

$$\text{або } Q_1 = (t_B - \tau_B) \cdot F / R_B , \quad (2.16)$$

де  $\alpha_B$  - коефіцієнт теплообміну на внутрішній поверхні захисної конструкції, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$R_B$  - опір теплообміну на внутрішній поверхні, (м<sup>2</sup>·°C/Вт).

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти теплосприймання внутрішніх поверхонь захисних конструкцій

Внутрішня поверхня захисних конструкцій	Коефіцієнт теплосприймання $\alpha_B$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
Стін, підлог, гладких стель та ребристих стель при відношенні висоти $h$ ребер до відстані $a$ між гранями сусідніх ребер $h/a \leq 0,3$	8,7
Ребристих стель при відношенні $h/a > 0,3$	7,6
Зенітних ліхтарів	9,9

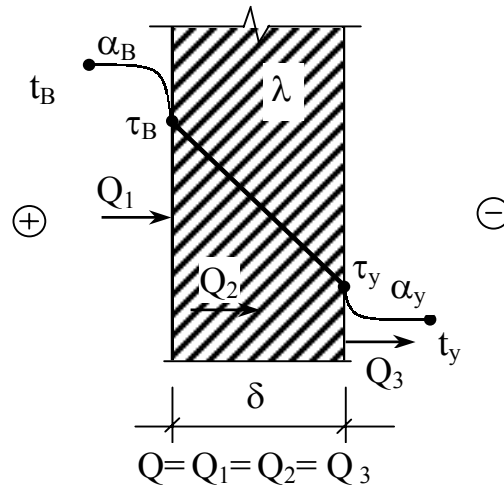


Рисунок 2.7 - Теплопередача через захисну конструкцію

Передача тепла конвекцією та випромінюванням здійснюється в даному випадку немов би паралельно, тому для отримання результуючої необхідно скласти складові:

$$\alpha_B = \alpha_k + \alpha_n, \quad (2.17)$$

Зовнішня поверхня передає тепло оточуючому середовищу також конвекцією та випромінюванням. Конвекцією тепло передається зовнішньому повітрю, а випромінюванням – оточуючим більш холодним поверхням. Умовно приймають, що оточуюча поверхня приймає значення температури зовнішнього повітря. Тоді

$$Q_3 = \alpha_3 (\tau_3 - t_3) \cdot F, \quad (2.18)$$

або 
$$Q_3 = (\tau_3 - t_3) \cdot F / R_3, \quad (2.19)$$

де  $\alpha_3$  - коефіцієнт теплообміну на зовнішній поверхні, Вт/(м<sup>2</sup>·°C), (див. табл. 2.2).

$R_3$  - відповідний опір зовнішньої поверхні, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;

$\tau_3, t_3$  - температури зовнішньої поверхні захисної конструкції і зовнішнього повітря, °C.

Тепловий потік  $Q_2$ , який проходить через захисну конструкцію визначається різницею температур на її поверхнях та її конструкцією:

$$Q_2 = \frac{\lambda}{\delta} (\tau_b - \tau_s) \cdot F = \frac{1}{R_T} (\tau_b - \tau_s) \cdot F. \quad (2.20)$$

В умовах сталого теплового потоку, коли внутрішня і зовнішня температури та інші характеристики процесу залишаються незмінними за часом, тепловий потік  $Q_1$ , який приймає внутрішня поверхня захисної конс-

трукції буде дорівнювати значенню теплового потоку  $Q_2$ , який проходить через товщу захисної конструкції, і тепловому потоку  $Q_3$ , який віддає зовнішня поверхня:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q. \quad (2.21)$$

Таблиця 2.2 - Коефіцієнти тепловіддачі зовнішніх поверхонь захисних конструкцій для зимових умов

Зовнішня поверхня захисних конструкцій	Коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_3$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1 Зовнішніх стін, покриттів, перекриттів над проїздами	23
2 Перекриттів над холодними підвалами, що сполучаються із зовнішнім повітрям	17
3 Перекриттів горищних та над неопалюваними підвалами із світловими прорізами у стінах, а також зовнішніх стін із повітряним прошарком, що вентилюється зовнішнім повітрям	12
4 Перекриттів над неопалюваними підвалами без світлових прорізів у стінах	6

Загальна формула для визначення потоку тепла  $Q$ , яке витрачає приміщення через дану захисну конструкцію, отримана з виразів (2.12), (2.16), (2.19), (2.20) у вигляді:

$$Q = \frac{1}{R_B + R_T + R_3} (t_b - t_3) \cdot F = \frac{1}{R_0} (t_b - t_3) \cdot F. \quad (2.22)$$

Загальний опір теплопередачі через захисну конструкцію:

$$R_0 = R_B + R_T + R_3, \quad (2.23)$$

Якщо захисна конструкція складається з кількох шарів матеріалу, які розташовані перпендикулярно напрямку теплового потоку, то термічний опір загальної товщі захисної конструкції:

$$R_T = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (2.24)$$

Для окремого шару опір теплопередачі:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}.$$

Коефіцієнт теплопередачі захисної конструкції:

$$K = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_b} + \sum (\delta_n / \lambda_n) + \frac{1}{\lambda_n}}, \quad (2.25)$$

де  $\delta_n$  і  $\lambda_n$  - товщі шарів захисної конструкції і теплопровідності їх матеріалів (Додаток А).

Коефіцієнт теплопередачі захисної конструкції  $K$  є величина, яка дорівнює тепловому потоку в ватах, який проходить в стаціонарних умовах через  $1 \text{ м}^2$  площі захисної конструкції при різниці температур внутрішнього і зовнішнього повітря  $1^\circ\text{C}$ ,  $[\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}]$ .

Опір теплопередачі захисної конструкції  $R_0$  дорівнює такій різниці температур внутрішнього і зовнішнього повітря в градусах Цельсія, яка забезпечує проходження через  $1 \text{ м}^2$  площі захисної конструкції теплового потоку в  $1 \text{ Вт}$ ,  $[^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}]$ .

Складніше розрахувати передачу тепла через захисні конструкції з неоднорідною конструкцією поверхні, яка перпендикулярна до напрямку теплового потоку. В цьому випадку порушується одномірність температурного поля, і для точного розв'язання необхідно провести розрахунок двомірному температурного поля. Якщо поверхню захисної конструкції розбити на окремі площі, в межах яких конструкція однорідна в напрямку теплового потоку, і умовно вважати, що в межах такої площі зберігається одномірність температурного поля, то для теплових розрахунків можна користуватися формулами (2.12) і (2.14).

Термічний опір товщі захисної конструкції в рівнянні (2.23) відповідно формулі (2.14)

$$\frac{1}{R_T} = \frac{\sum \frac{1}{R_n} F_n}{\sum F_n}; \quad R_T = \frac{\sum F_n}{\sum \frac{1}{R_n} F_n}, \quad (2.26)$$

де  $F_n$  - окремі площі захисної конструкції, в межах яких конструкція однорідна в напрямку перпендикулярному тепловому потоку,  $\text{м}^2$ ;

$R_n$  - термічний опір товщі захисної конструкції в межах цих площин,  $(^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2)/\text{Вт}$ .

Якщо захисна конструкція складається з неоднорідних матеріалів як в паралельному  $\parallel$ , так і в перпендикулярному  $\perp$  напрямках по відношенню до напрямку теплового потоку, а товщі шарів і сторони окремих площ мають розміри одного порядку, то користуються умовним розрахунковим методом.

Визначають опір теплопровідності товщі захисної конструкції за формулою (2.26) і позначають цю величину  $R_T \parallel$ , що підкреслює про визначення опору в результаті розбивки захисної конструкції перерізами, які паралельні тепловому потоку. Далі розбивають захисну конструкцію на характерні шари площинами, які перпендикулярні напрямку теплового потоку.

ку. Визначають термічний опір цих шарів і додають їх відповідно до формули (2.12) як термічні опори шарів, які розташовані послідовно до напрямку теплового потоку. Отриманий таким чином термічний опір товщини захисної конструкції позначають  $R_{T\perp}$  в зв'язку з тим, що ця величина розрахована при розбиванні захисної конструкції на шари площинами, які перпендикулярні напрямку теплового потоку.

Фактичний опір теплопровідності:

$$\sum R_T \approx \frac{2R_{T\perp} + R_{T\parallel}}{3}, \quad (2.27)$$

де  $R_{T\parallel}$  - опір теплопровідності, який визначено в результаті розбивання захисної конструкції на шари перерізами, паралельними до теплового потоку;

$R_{T\perp}$  - опір теплопровідності, який визначено в результаті розбивання захисної конструкції на шари перерізами, перпендикулярними напрямку теплового потоку.

В розглянутих рівняннях (2.16) – (2.22), а також в зв'язку з електро-тепловою аналогією можна встановити, що перепад температури в межах кожного шару багат шарової захисної конструкції пропорційний його термічному опору. Перепад між температурами повітря приміщення ( $t_B$ ) та внутрішньої поверхні захисної конструкції  $\tau_B$  ( $t_B - \tau_B$ ):

$$\frac{t_B - \tau_B}{t_B - t_3} = \frac{R_B}{R_0},$$

а температура внутрішньої поверхні захисної конструкції:

$$\tau_B = t_B - \frac{R_B}{R_0} (t_B - t_3).$$

Якщо  $R_{B-X}$  - опір теплопередачі від внутрішнього середовища приміщення до перерізу X в товщі захисної конструкції, то температура в будь-якому довільному перерізі захисної конструкції:

$$t_X = t_B - \frac{R_{B-X}}{R_0} (t_B - t_3). \quad (2.28)$$

## 2.6 Значення основних характеристик теплопередачі через захисну конструкцію

Основними характеристиками теплопередачі є: теплопровідність матеріалу, коефіцієнт теплообміну на поверхнях захисних конструкцій і термічний опір повітряного прошарку.

Теплопровідність будівельних матеріалів  $\lambda$  (Вт/м°C), може змінюватись в широких межах. Теплопровідність матеріалу значно змінюється із змінами густини, вологості, температури (див. рис. 2.8).

Із збільшенням щільності будівельного матеріалу його теплопровідність збільшується. Це пояснюється в основному зменшенням частини об'єму, який займає кістяк матеріалу, що має більш високу теплопровідність.

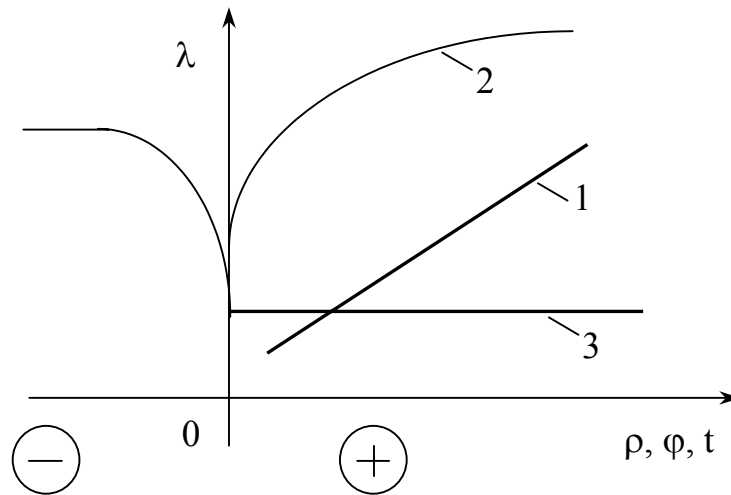


Рисунок 2.8 - Характер залежності теплопровідності  $\lambda$  від густини матеріалу  $\rho$  (1), вологості  $\phi$  (2) і температури  $t$  (3)

З підвищенням вологості матеріалу, коли волога заповнює об'єм в порах, витискуючи повітря, здійснюється значне збільшення його теплопровідності, тому що теплопровідність води, дорівнює 0,58 Вт/м°C в 25 разів більше теплопровідності повітря.

З підвищенням температури теплопровідність окремих будівельних матеріалів може зростати або знижуватись. Особливо різкі зміни теплопровідності здійснюються при переході температури через нуль.

Коефіцієнт теплообміну на внутрішній  $\alpha_{в}$  і зовнішній  $\alpha_{з}$  поверхнях захисної конструкції залежить від умов конвективного і променистого теплообміну на цих поверхнях.

Коефіцієнт конвективного теплообміну на внутрішній вертикальній поверхні можна визначити за формулою

$$\alpha_{к} = 1,66 \sqrt[3]{t_{в} - t_{в}} \cdot \quad (2.29)$$

Значення множника пропорційності в цій формулі треба збільшити на 30% (до величини 1,16) для горизонтальних поверхонь при напрямку потоку тепла зверху донизу.

Згідно з законом Стефана-Больцмана кількість тепла, яка випромінюється одиницею поверхні якого-небудь тіла за одиницю часу

$$g = C (0,01T)^4, \quad (2.30)$$

де  $T$  - абсолютна температура;

$C$  - коефіцієнт випромінювання.

Коефіцієнт променистого теплообміну для звичайного випадку теплопередачі може бути обчислений, згідно з виразами (2.5) та (2.6) за формулою:

$$\alpha_{\text{ПР}} = \frac{(0,01T_1)^4 - (0,01T_2)^4}{t_1 - t_2} C_{\text{ПР}} \varphi_{1-2} = b_{1-2} C_{\text{ПР}} \varphi_{1-2} , \quad (2.31)$$

Множник  $b_{1-2}$  в формулі (2.31)- температурний фактор, який в межах звичайного для захисної конструкції діапазону температур можна визначити за наближеною формулою:

$$b_{1-2} = 0,81 + 0,005 (t_1 - t_2) . \quad (2.32)$$

Приведений коефіцієнт випромінювання  $C_{\text{ПР}}$  при довільному розташуванні поверхні дорівнює:

$$C_{\text{ПР}} = C_1 \cdot C_2 / C_0 , \quad (2.33)$$

де  $C_1$  і  $C_2$  - коефіцієнти випромінювання теплообмінних поверхонь;

$C_0$  - коефіцієнт випромінювання цілком чорного тіла, який дорівнює  $5,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ; для поверхні в приміщенні звичайно коефіцієнти випромінювання  $C = 5,2 \dots 5,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ; тому  $C_{\text{ПР}}$  можна приймати в розрахунках  $4,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ .

В СНиП наведені значення коефіцієнта теплообміну, які приймають при звичайних розрахунках. Для внутрішніх площин всіх захисних конструкцій, незалежно від приміщення прийнято значення  $\alpha_{\text{В}} = 8,7 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$  або  $R_{\text{В}} = 0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Для зовнішніх поверхонь, які безпосередньо зв'язані з зовнішнім повітрям, використовують значення  $\alpha_3 = 23,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  або  $R_3 = 0,043$ .

Для зовнішніх поверхонь, які безпосередньо не обдуваються вітром, приймають такі значення  $\alpha_3$ :

- для перекриттів, які виходять на дах  $\alpha_3 = 11,6 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$  ;
- для поверхонь, які виходять в підвальну частину будинку  $\alpha_3 = 5,8 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ .

Термічний опір повітряних прошарків в захисній конструкції  $R_{\text{ПШ}}$  залежить від різниці температур на поверхні прошарку, від її середньої температури, її товщини та напрямку теплового потоку.

В залежності від товщини прошарку (від 10 до 300 мм)  $R_{\text{ПШ}}$  змінюється від  $0,13 - 0,155 \text{ [м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт]}$  (коли потік тепла знизу до гори в горизонтальних та вертикальних площинах); та від  $0,13$  до  $0,19 \text{ [м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт]}$  (коли потік тепла зверху донизу).

## 2.7 Теплозахисні властивості захисних конструкцій

Теплозахисні властивості зовнішніх захисних конструкцій визначаються опором теплопередачі  $R_0$  і теплостійкістю, яку орієнтовно оцінюють за значенням множника теплової масивності захисної конструкції.

Мінімально допустимий опір теплопередачі, який задовольняє взимку санітарно-гігієнічним умовам має назву необхідний опір  $R_0^{\text{Н}}$ .



Основні вимоги, які ставлять до зовнішніх захисних конструкцій в гігієнічному відношенні, полягають в тому, що температура на їх внутрішніх поверхнях  $t_B$  повинна бути такою, при якій людина, яка знаходиться в приміщенні, не зазнавала б з боку цієї поверхні інтенсивного “радіаційного охолодження”. Крім цього, в приміщеннях не допускається випадіння конденсату на захисні конструкції, в зв’язку з чим температура внутрішньої поверхні зовнішніх захисних конструкцій повинна бути вищою за температуру точки роси повітря в приміщенні  $\tau_{TP}$ .

$$t_B > \tau_{TP} \quad (2.34)$$

При визначенні  $R_0^H$  приймають за основу рівняння розподілу температури в захисній конструкції в стаціонарних умовах:

$$\Delta t^H \rightarrow t_B - \tau_{TP} = R_B \frac{(t_B - t_3)}{R_0}, \quad (2.35)$$

якщо переписати це рівняння відносно  $R_0$ , то воно приймає вигляд:

$$R_0 = R_B \frac{t_B - t_3}{t_B - \tau_B}. \quad (2.36)$$

В це рівняння введені регламентовані значення величин  $R_B$ ,  $t_B$ ,  $t_3$  та  $t_B - \tau_B$ , які залежать від призначення приміщення та ін.

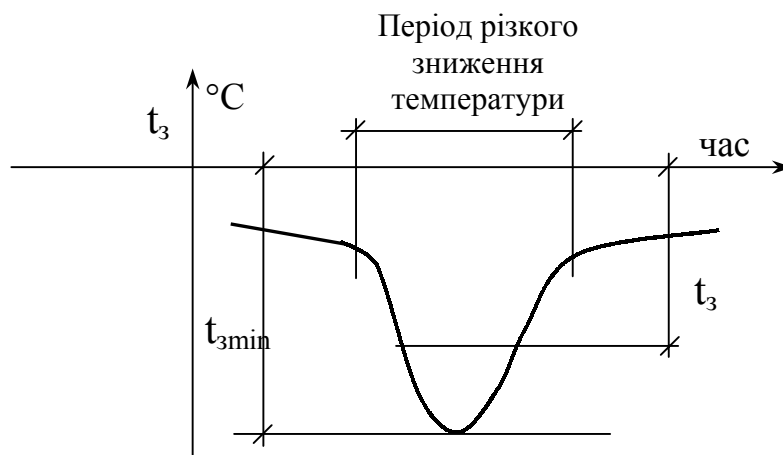
Температура  $t_B$  регламентується СНиП на основі рекомендацій гігієністів в залежності від призначення приміщення.

Різниця температур  $t_B - \tau_B$  нормується величиною  $\Delta t^H$ , яка приймається за табл. 2.3 (Додаток Д).

**Таблиця 2.3 - Мінімально допустимий температурний перепад між температурою внутрішнього повітря та температурою внутрішньої поверхні конструкції**

Приміщення	$\Delta t^H$ , °C (не більше)	
	Для зовнішніх стін	Для безгорищних покрівель та дахового перекриття
Житлові, а також громадські будівлі	6	4
Поліклініки та школи	6	4,5
Громадські та адміністративні будівлі, а також допоміжні	7	5,5
Промислові будівлі, які опалюються з розрахунковою вологістю внутрішнього повітря, % <50	10	8
50-60, %	8	7

Для різних кліматичних районів були побудовані криві змін температури зовнішньої поверхні восьми найхолодніших зим за останні 50 років. Ці криві для різних районів мають характерну і близьку форму (див. рис. 2.9).



**Рисунок 2.9 - Розрахункова крива змін температури зовнішнього повітря в холодний період року**

Захисні конструкції, які мають однаковий опір теплопередачі, але різну теплову масивність, по різному реагують на зміни температури зовнішнього повітря в період різкого зниження температури. У захисних конструкціях з малою тепловою масивністю ці зміни викличуть більше зниження температури на внутрішній поверхні, ніж у масивних захисних конструкціях.

## **2.8 Визначення температур у будь-якій площині багат шарової захисної конструкції в умовах стаціонарної теплопередачі**

Розрахунок температур на поверхнях і в будь-якій площині товщі огороження здійснюється аналітично або графічним шляхом. При цьому звичайно припускають, що коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів не залежать від температури. Якщо таке припущення неприйнятне, то задача вирішується методом послідовних наближень.

У розрахунках приймають температуру зовнішнього повітря рівній температурі найхолоднішої п'ятиденки забезпеченістю 0,92, а температуру повітря в приміщенні – відповідно до нормативних вимог для відповідних будинків і споруд (додаток Е, Ж).

З рівності потоків теплоти, що проходять через будь-який переріз  $x$  захисної конструкції і через всю конструкцію в цілому, випливає, що:

$$Q = \frac{t_B - t_X}{R_B + \sum R_X} = \frac{t_B - t_X}{R_0}. \quad (2.37)$$

Звідки можна отримати такі вирази.

Для визначення температури в будь-якому перерізі  $x$  захисної конструкції:

$$\tau_x = t_B - \frac{t_B - t_x}{R_0} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_B} + \sum R_x \right). \quad (2.38)$$

Для визначення температури на внутрішній поверхні будь-якого шару захисної конструкції:

$$\tau_n = t_B - \frac{t_B - t_x}{R_0} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{n-1} R_i \right). \quad (2.39)$$

Для визначення температури на внутрішній і зовнішній поверхнях захисної конструкції в цілому:

$$\tau_{в.п.} = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_0} \cdot \frac{1}{\alpha_B}; \quad (2.40)$$

$$\tau_{н.п.} = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_0} \cdot \left( R_0 - \frac{1}{\alpha_n} \right); \quad (2.41)$$

де  $\sum_{n-1} R_i$  - сума термічних опорів  $(n-1)$  шарів захисної конструкції;

$\sum R_x$  - сума термічних опорів шарів захисної конструкції до площини  $x$ ;

$\tau_{в.п.}$  і  $\tau_{н.п.}$ ,  $\tau_n$  - температури, відповідно, на внутрішній і зовнішній поверхнях захисної конструкції, на внутрішній поверхні  $n$ -шару (нумерація ведеться від внутрішньої поверхні).

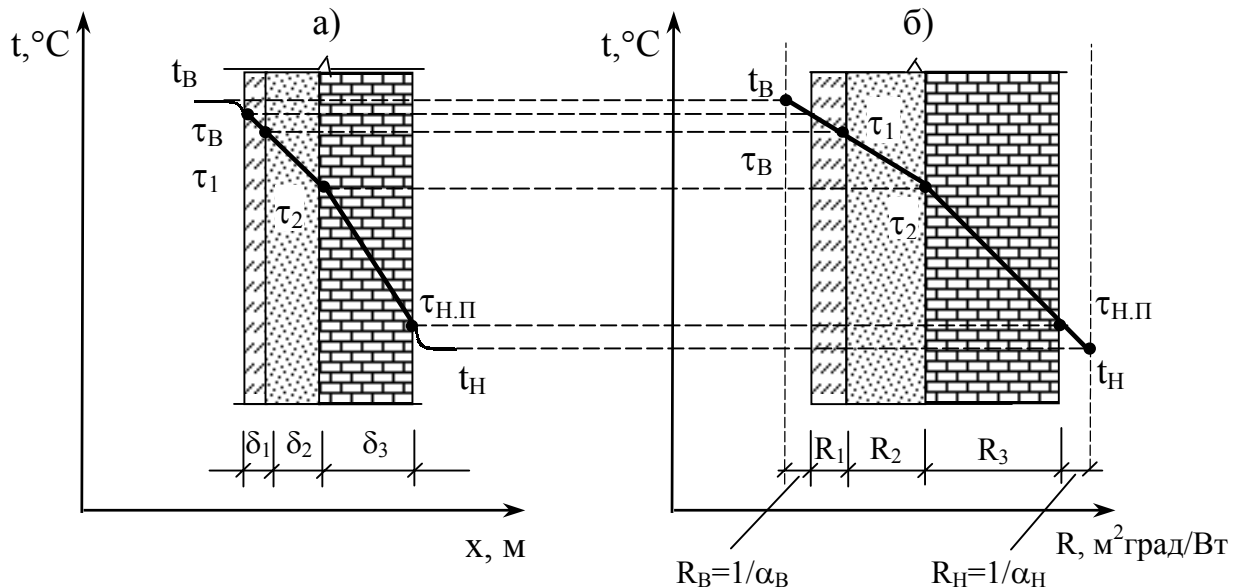
З рівняння (2.37) випливає, що спад температури прямо пропорційний зміні термічного опору.

На цьому базується відносно нескладний графічний метод визначення температур у товщі захисної конструкції. Порядок побудови графіка такий. По вертикальній осі відкладають значення температури, причому за початок відліку звичайно приймають розрахункову температуру зовнішнього повітря. По горизонтальній осі відкладають послідовно відрізки, пропорційні термічним опорам тепловіддачі на внутрішній поверхні, теплопровідності шарів конструкції й опору тепловіддачі на зовнішній поверхні відповідно до рівняння для опору теплопередачі, як це показано на рис. 2.10. Кінцеву крапку останнього відрізка на осі абсцис з'єднують із крапкою, що відповідає температурі внутрішнього повітря, на осі ординат прямою лінією. Температура в будь-якій площині товщі захисної конструкції визначається як ордината крапки на отриманому графіку.

При графічній побудові лінії розподілу температури в багат шаровій захисній конструкції, накресленої в масштабі реальних товщин окремих шарів, нахил цієї лінії в межах кожного шару складе:

$$\frac{\Delta t}{\delta} = \frac{Q}{\lambda} .$$

Чим вище коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$ , тим крутіше спад лінії розподілу температур у межах розглянутого шару.



**Рисунок 2.10 - Схема розподілу температур усередині багатошарової захисної конструкції при стаціонарній теплопередачі:**

- а) - в конструкції, зображеної в масштабі реальних товщин окремих шарів;
- б) - в конструкції, зображеної в масштабі термічних опорів окремих шарів.

У багатошаровій конструкції, виконаній з матеріалів з різним коефіцієнтом теплопровідності, розподіл температур зображується ламаною лінією (рис. 2.10, а). Ця лінія перетворюється в пряму, що з'єднує значення  $t_B$  і  $t_H$ , якщо багатошарова захисна конструкція накреслена в масштабі термічних опорів  $R$  (рис. 2.10, б). У цьому випадку нахили ліній розподілу температур  $\Delta t/R$  у межах кожного шару дорівнюють потоку теплоти  $Q$  і, отже, в умовах стаціонарної теплопередачі дорівнюють один одному.

## 2.9 Термічний опір повітряних прошарків

З метою підвищення термічних опорів захисних конструкцій, зменшення маси і вартості їх найчастіше виконують з повітряними прошарками. Пристрій повітряного прошарку є розповсюдженим прийомом теплоізоляції, тому що коефіцієнт теплопровідності повітря має досить низьке значення (при  $t = 0^\circ\text{C}$   $\lambda_B = 0,023$  Вт/м·град). Прошарок також використовують у конструкціях вікон, вітражів, зовнішніх стін і перекриттів, для екранування при захисті від випромінювання і як гравітаційний побудник

для інтенсифікації конвективного теплообміну з обігрівальних або охолоджувальних пристроїв. У зовнішніх стінах і перекриттях такий прийом часто використовують для попередження перезволоження конструкцій.

Повітряний прошарок може бути герметичний або вентильований (повітряний продух). Теплопередача через продух принципово відрізняється і є набагато більш складним процесом, ніж для герметичного повітряного прошарку.

Опір теплопередачі повітряного прошарку  $R_{в,п}$  не може бути визначений як опір теплопровідності шару повітря, тому що передача теплоти в повітряному прошарку від однієї поверхні до іншої відбувається в основному конвекцією і випромінюванням.

У герметичному повітряному прошарку:

$$q = q_k + q_l. \quad (2.42)$$

Величина конвективної складової теплового потоку  $q_k = \alpha'_k \Delta\tau$  є складовою, до якої входить передача теплоти за рахунок конвекції і за рахунок теплопровідності. Конвективний теплообмін у прошарку пов'язаний з циркуляцією повітря.

### 2.9.1 Розрахунок термічного опору вертикальних герметичних повітряних прошарків

У вертикальних повітряних прошарках (рис. 2.11), якщо їхня товщина в порівнянні з висотою незначна, потоки, що піднімаються уздовж поверхні з більшою температурою, і ті потоки, що опускаються на холодній поверхні, можуть рухатися без взаємних перешкод:

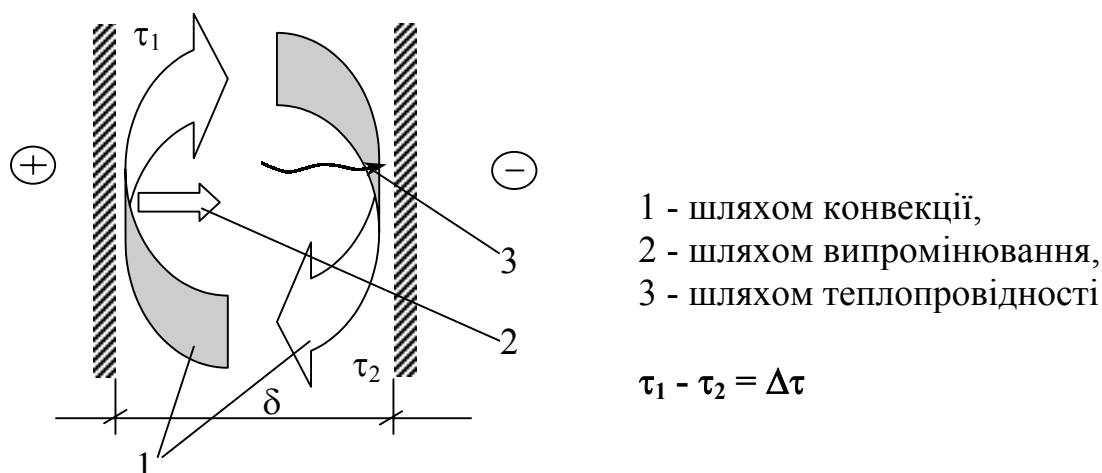


Рисунок 2.11 - Схема передачі теплоти через вертикальний повітряний прошарок

У тонких прошарках конвективні струмини взаємно гальмуються й утворюють внутрішні циркуляційні контури, висота яких залежить від ширини щілини.

При невеликих товщинах і невеликих різницях температур спостерігається паралельноструминний рух повітря, тобто ламінарний рух повітря уздовж стінок без перемішування. Цей режим зберігається до значення числа Релея:  $Ra = Gr \cdot Pr < 1000$ . При середній температурі повітря  $0^\circ\text{C}$  критичному значенню числа Релея  $Ra$  відповідає:

$$(Gr \cdot Pr)_{кр} \approx 10^8 \cdot \delta^3 \cdot \Delta\tau \leq 1000. \quad (2.43)$$

де  $Gr$  – критерій Грасгофа;  $Pr$  – критерій Прандтля.

Критична товщина прошарку, для якої зберігається ламінарний режим потоку, визначається виразом:

$$\delta_{кр} \approx 20 \cdot \Delta\tau^{-1/3}, \quad (2.44)$$

де  $\Delta\tau$  - різниця температур на границях прошарку.

При такому режимі руху повітря в прошарку коефіцієнт конвективного теплообміну:

$$\alpha'_k = \lambda_B / \delta, \quad (2.45)$$

тобто приймається, що передача теплоти через шар повітря товщиною  $\delta < \delta_{кр}$  здійснюється теплопровідністю.

Якщо  $Gr \cdot Pr > 1000$ , то для визначення  $\alpha'_k$  дослідницьким шляхом встановлена критеріальна залежність:

$$Nu = 0,18 (Gr \cdot Pr)^{0,25}, \quad \alpha'_k = \alpha l / \lambda, \quad (2.46)$$

де  $Nu$  – критерій Нуссельта.

Для повітря при середній температурі  $0^\circ\text{C}$ :

$$\alpha' = 2,8 (\Delta\tau / \delta)^{0,25}, \quad (2.47)$$

де  $\delta$  - товщина повітряного прошарку в мм.

Числові значення коефіцієнта конвективного теплообміну у формулі (2.47) зростають приблизно на 4 % при зниженні середньої температури повітря на  $10^\circ\text{C}$ .

### 2.9.2 Розрахунок термічного опору горизонтальних герметичних повітряних прошарків

Якщо верхня поверхня нагріта більше, ніж нижня, перемішування повітря майже не буде, тому коефіцієнт конвективного теплообміну  $\alpha'_k$  буде досить точно визначатися за формулою (2.45).

Якщо більш нагрітою є нижня поверхня і тепловий потік спрямований знизу нагору, то виникають струмини ті, що піднімаються, і ті, що опускаються, тобто струмини, що утворюють циркуляційні контури. Значення  $\alpha'_k$  у цьому випадку зростає, у порівнянні з отриманим, за формулою (2.47). Збільшення  $\alpha'_k$  в основному залежить від товщини прошарку і до-

рівнює: при  $\delta = 10$  мм – близько 20 %, при  $\delta = 50$  мм - збільшення має максимальне значення близько 45 %, і далі зменшується так, що при  $\delta = 100$  мм - збільшення дорівнює близько 25 %, при  $\delta = 200$  мм - близько 5 %.

Основна частина теплоти через прошарок передається випромінюванням. Теплообмін випромінюванням від більш теплої поверхні до менш нагрітої практично не залежить від товщини повітряного прошарку в силу діатермічності повітря.

Складова теплопередачі через повітряний прошарок за рахунок випромінювання дорівнює:

$$q_{\text{л}} = \alpha_{\text{л}} (\tau_1 - \tau_2), \quad (2.48)$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням  $\alpha_{\text{л}}$  визначається за загальною формулою:

$$\alpha_{\text{л}} = \epsilon_{\text{ПР}} C_0 b \varphi, \quad (2.49)$$

де  $\epsilon_{\text{ПР}}$  - приведений коефіцієнт випромінювання, для більшості будівельних матеріалів  $\epsilon_{\text{ПР}} \approx 0,85$ ;

$C_0 = 5,77$  Вт/(м<sup>2</sup> град) - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла;

$b$  - температурний коефіцієнт, при середній температурі 0°C;  $b = 0,81$ ;

$\varphi$  - коефіцієнт випромінювання, у повітряному прошарку приймають  $\varphi = 1$ , виключення складають прошарки у вигляді отворів у плитах, цеглинах і т.д. При перерізі отворів, близьких до квадратного, за рахунок додаткового випромінювання бічних стінок  $\varphi \approx 1,2$ .

Тоді

$$\alpha_{\text{л}} = 0,85 \cdot 5,77 \cdot 0,81 \cdot 1,0 = 3,97 \text{ Вт/(м}^2 \text{ град)}.$$

### 2.9.3 Значення термічних опорів замкнутих повітряних прошарків

Зменшити потік теплоти випромінюванням і в такий спосіб збільшити опір теплопередачі прошарку (приблизно в 2 рази) можна за рахунок так званого «армування», наприклад алюмінієвою фольгою. Покриття фольгою, що зменшує тепловий потік приблизно в 10 разів, звичайно роблять на теплій поверхні, для запобігання конденсації. Обклеювання фольгою другої поверхні практично не змінить результату, тому що  $\epsilon_{\text{ПР}}$  при цьому майже не змінюється.

Найбільш ефективним методом збільшення опору повітряного прошарку є її екранування.

Один екран з алюмінієвої фольги зменшує тепловий потік у 20 разів. Зі збільшенням числа екранів цей ефект зростає. На цьому принципі заснована теплоізоляція «альфоль», виконана у вигляді плоских аркушів фольги на відстані 10...15 мм один від одного, чи у вигляді м'яких, гофрованих листів фольги. Умовний коефіцієнт теплопровідності такого теплоізоляційного шару при гладких аркушах складає - 0,031 Вт/(м<sup>2</sup> град), при гофрованих - 0,028 Вт/(м<sup>2</sup> град).

Зменшити коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням  $\alpha_L$  можна за рахунок наближення прошарку екранування в конструкції до зовнішньої поверхні, тому що при цьому знижується температура, а, отже, й температурний коефіцієнт  $b$ .

Найбільш ефективна товщина вертикального повітряного прошарку без екранів дорівнює 76...95 мм.

Для горизонтального прошарку при передачі тепла знизу нагору і зверху вниз зі збільшенням товщини опір теплопередачі зростає. Однак, стовщення прошарку більше 5 мм, як правило, нераціонально.

У конструкціях покриття будинку повітряний прошарок іноді розташовують похило. Кут нахилу при  $Gr \cdot Pr < 1000$  не впливає на теплопередачу. При  $Gr \cdot Pr > 1000$  величину  $\alpha_K$  при заданому куті нахилу можна визначити лінійною інтерполяцією між його значеннями при вертикальному і горизонтальному розташуванні.

Числові значення нормативних термічних опорів герметичних повітряних прошарків в залежності від товщини прошарку (для невеликих товщин), його розташування (вертикальне, горизонтальне) для зимових і літніх умов лежать у межах 0,13...0,24 Вт/(м<sup>2</sup> град).

## 2.10 Теплотехнічний розрахунок світлових прорізів

Теплозахисні властивості вікон, балконних дверей і ліхтарів визначаються, в першу чергу, кількістю шарів скління. Вікна мають значно менші термічні опори, чим зовнішні стіни, перекриття і покриття над підвалами. Крім того, вікна мають підвищену повітропроникність, у порівнянні з іншими конструкціями, тому відносна площа скління у будинках і спорудах повинна вибиратися як з урахуванням норм природного освітлення приміщень, так і теплотехнічних вимог і вимог до повітропроникності.

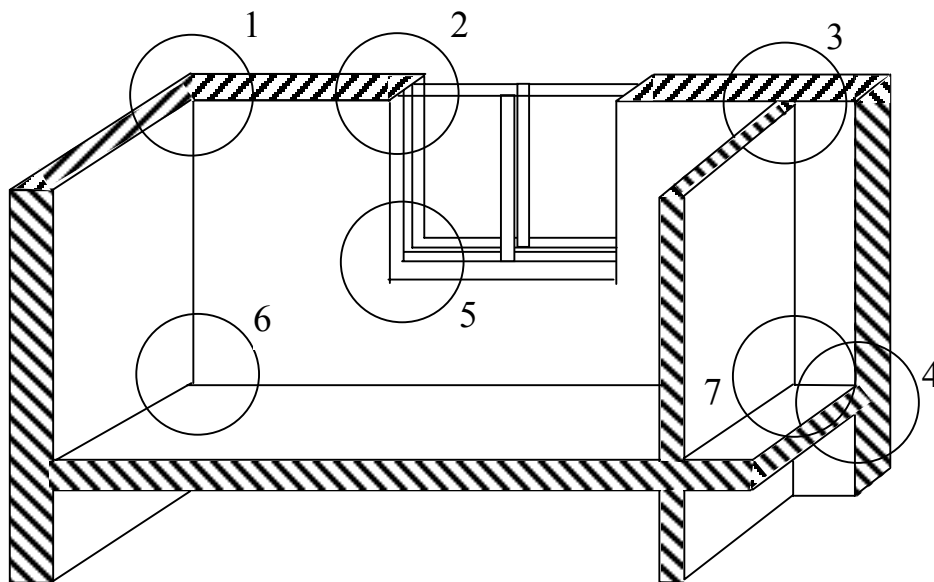
Вибір конструкцій заповнення світлових прорізів необхідно здійснювати з урахуванням вимог Державних будівельних норм [1]. Необхідний опір теплопередачі визначається призначенням будинку, а також різницею температур внутрішнього повітря і температури найхолоднішої п'ятиденки забезпеченістю 0,92. У 1993 р. в Україні затверджені нові нормативи опору теплопередачі вікон і балконних дверей житлових і громадських будинків. Їхні значення приведені в Додатку А. для чотирьох температурних зон. Задача вибору дійсного опору теплопередачі заповнення світлових прорізів зважується в комплексі з розрахунком їхньої повітропроникності.

## 2.11 Рішення стаціонарних задач теплопередачі через захисні конструкції при двовимірному температурному полі

У реальних конструкціях зовнішніх захищень фактично важко виділити площу, у межах якої забезпечувалася повна однорідність конструкції й одномірність температурного поля. Наявність у захисній конструкції те-



плопровідних включень у вигляді ребер панелі, що обрамляють, багаторядного розташування повітряних прошарків у пустотних будівельних виробках, обрамлень віконних прорізів, внутрішніх і зовнішніх виступаючих частин, прилягань внутрішніх конструкцій приводить до утворення в них складних двовимірних і тривимірних температурних полів (рис. 2.12).



**Рисунок 2.12 – Елементи формування двовимірних (1,2,3,4) і тривимірних (5,6,7) температурних полів у зовнішніх захисних конструкціях будинків**

Для рішення задач будівельної теплотехніки часто виявляється достатнім розглянути двовимірне температурне поле. Однак вирішення диференціального рівняння двовимірного температурного поля значно складніше, ніж рівняння для одномірного поля. Тому аналітичні методи рішення можуть бути використані тільки для дуже обмеженого кола задач, в основному дослідницького характеру.

Для більшості практичних задач, коли поряд із двовимірністю поля приходить враховувати його неоднорідність, аналітичні методи не можуть бути використані. У цьому випадку застосовують чисельні методи, що досить точні і прості для розрахунку.

### **2.11.1 Опір теплопередачі неоднорідних конструкцій**

Сучасні будівельні конструкції з ряду причин найчастіше виконуються з різною товщиною на близьких одна від одної ділянках або з регулярно повторюваними ділянками, що містять включення з іншими коефіцієнтами теплопровідності. Такі конструкції прийнято вважати неоднорідними. Прикладами можуть служити панелі з ребрами, кладка з блоків із щільними порожнинами, кладка із суцільної цегли з порожнинами і т.д.

Для подібних захисних конструкцій розроблені наближені методи розрахунку, що добре зарекомендували себе на практиці і наведені в

СНиП П-3-79\*\* [3].

Порядок обчислень включає три етапи.

1. Захисна конструкція умовно розділяється на ділянки з постійними термічними опорами площинами, паралельними вектору теплового потоку. Кожна з цих ділянок може бути одношаровою або багатшаровою (рис. 2.13).

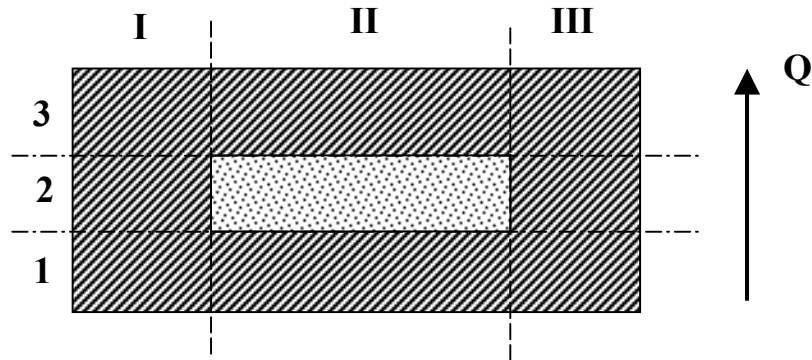


Рисунок 2.13 - Розрахункова схема пустотілого каменю

Для такої конструкції обчислюють значення приведенного термічного опору:

$$R_{\uparrow\uparrow} = \frac{F_I + F_{II} + F_{III} + \dots + F_n}{\frac{F_I}{R_I} + \frac{F_{II}}{R_{II}} + \frac{F_{III}}{R_{III}} + \dots + \frac{F_n}{R_n}}, \quad (2.50)$$

де  $F_I, F_{II}, \dots, F_n$  - площі окремих ділянок;

$R_I, R_{II}, \dots, R_n$  - термічні опори цих ділянок.

Отриманий термічний опір  $R_{\uparrow\uparrow}$  завжди виявляється більшим, ніж дійсне значення.

2. Площинами, перпендикулярними напрямку теплового потоку, захисна конструкція умовно розрізається на шари, що можуть бути однорідними і неоднорідними. Для цих шарів обчислюється термічний опір. Для однорідних - за класичною формулою. Для шару, у якому порушена однорідність матеріалу, визначається його середній коефіцієнт за формулою:

$$\lambda_{CP} = \frac{\lambda_I \cdot F_I + \lambda_{II} \cdot F_{II} + \dots + \lambda_n \cdot F_n}{F_I + F_{II} + \dots + F_n}, \quad (2.51)$$

де  $\lambda_I, \lambda_{II}, \dots, \lambda_n$  - коефіцієнти теплопровідності окремих матеріалів шарів;

$F_I, F_{II}, \dots, F_n$  - площі, що займають окремі матеріали по поверхні шару.

Термічний опір неоднорідного шару:  $R = \delta / \lambda_{CP}$ .

В результаті одержують термічний опір  $R_{\perp}$  як суму термічних опорів однорідних і неоднорідних шарів.  $R_{\perp}$  завжди виявляється менше дійсного.

3. Приведений термічний опір неоднорідної конструкції визначається

за формулою:

$$R_0^{np} = \frac{R_{\uparrow\uparrow} + 2R_{\perp}}{3}. \quad (2.52)$$

Якщо  $R_{\uparrow\uparrow}$  і  $R_{\perp}$  відрізняються більше ніж на 25%, то розрахунок ведеться за уточнюючими залежностями, приведеними у [3].

**Приклад.** Визначити середню приведену величину термічного опору кладки зі шлакобетонного каменю з щілинними пустотами на вапняно-піщаному розчині. Захисні конструкції проектуються для приміщень з нормальною вологістю і помірним зовнішнім кліматом. Щільність шлакобетону  $\rho_{шб} = 1600 \text{ кг/м}^3$ , його коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{шб} = 0,7 \text{ Вт/(м град)}$ , щільність вапняно-піщаного розчину  $\rho_p = 1600 \text{ кг/м}^3$ , коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_p = 0,7 \text{ Вт/(м град)}$ . Висота шлакобетонного каменю 178 мм.

Розрахункова схема каменю з щілинними пустотами з розбивкою на окремі характерні ділянки і шари зображена на рис. 2.14.

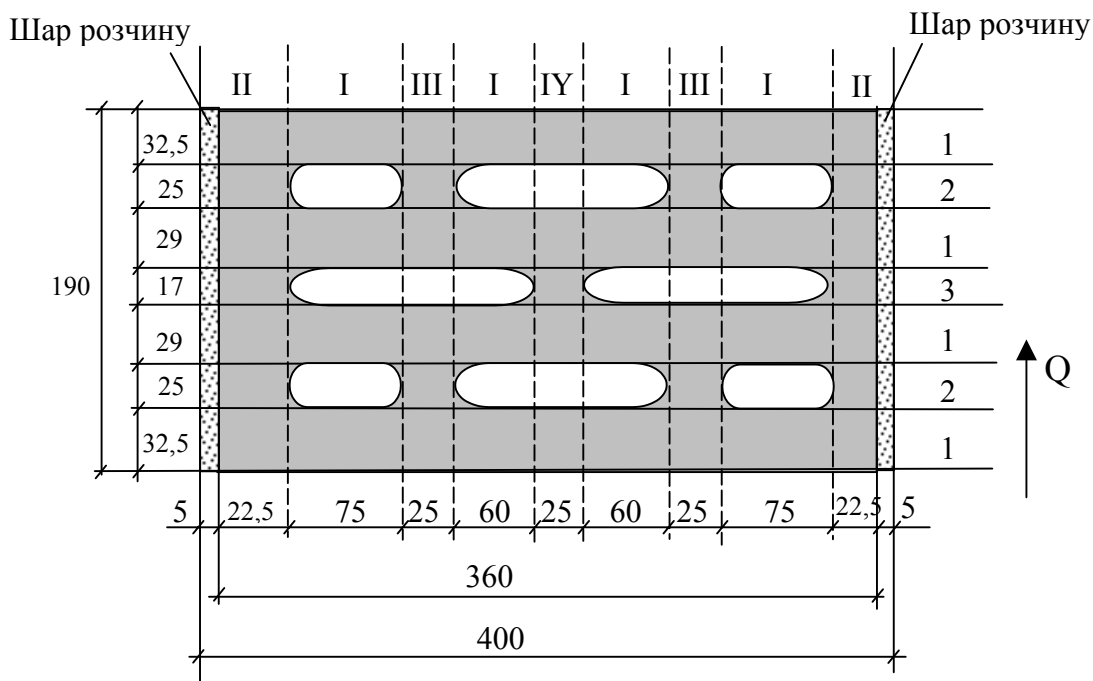


Рисунок 2.14 - Розрахункова схема шлакобетонного каменю з щілинними пустотами

1 Розрахунок при умовному перерізі шлакобетонного каменю площинами, паралельними потоку теплоти.

Ділянка I. Зовнішні і внутрішні шлакобетонні стінки каменю і три щілинних пустоти із середнім термічним опором  $0,16 \text{ м}^2 \text{ град/Вт}$  кожна.

Сумарна площа ділянки I, через яку проходить тепловий потік:

$$F_1 = [(0,075 \cdot 2) + (0,06 \cdot 2)] \cdot 0,178 = 0,04806 \text{ м}^2.$$

Термічний опір ділянки I:

$$R_I = (0,065 + 0,058) / 0,7 + 0,16 \cdot 3 \approx 0,66 \text{ м}^2 \text{ град/Вт.}$$

Ділянка II. Зовнішні шлакобетонні поперечні стінки каменю і вертикальні шви розчину.

Сумарна площа ділянки II:

$$F_{II} = (0,0225 \cdot 2 + 0,005 \cdot 2) \cdot 0,178 = 0,00979 \text{ м}^2.$$

Термічний опір ділянки II:

$$R_{II} = 0,19 / 0,7 \approx 0,27 \text{ м}^2 \text{ град/Вт.}$$

Ділянка III. Зовнішні і внутрішні шлакобетонні стінки каменю й одна центральна щілинна пустота.

Сумарна площа ділянки III:

$$F_{III} = (0,025 \cdot 2) \cdot 0,178 = 0,0089 \text{ м}^2.$$

Термічний опір ділянки III:

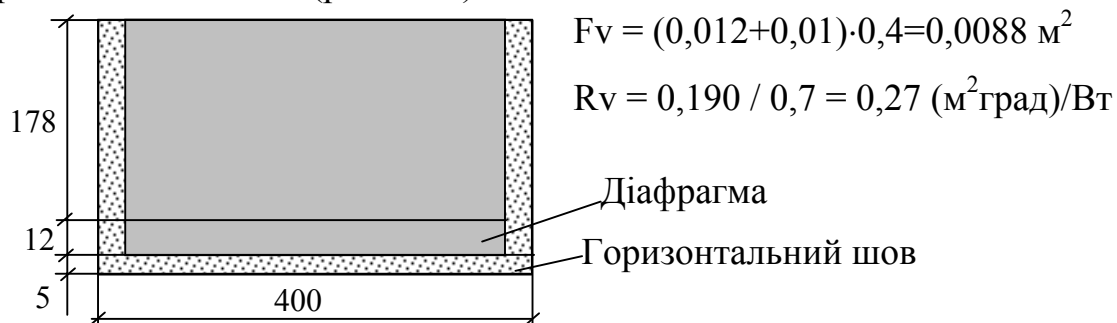
$$R_{III} = 0,173 / 0,7 + 0,16 \approx 0,41 \text{ (м}^2 \text{ град)/Вт.}$$

Ділянка IV. Зовнішні і внутрішня шлакобетонні стінки по осі симетрії каменю і дві щілинні пустоти.

$$F_{IV} = 0,025 \cdot 0,178 = 0,00445 \text{ м}^2.$$

$$R_{IV} = 0,140 / 0,7 + 0,16 \cdot 2 = 0,52 \text{ (м}^2 \text{ град)/Вт.}$$

Ділянка V. Горизонтальна шлакобетонна діафрагма каменю і розчин горизонтального шва (рис. 2.15).



**Рисунок 2.15 - Вигляд шлакобетонного каменю з боку площини перпендикулярної вектору теплового потоку**

Термічний опір шлакобетонного каменю при перерізі його площинами рівнобіжними потоку теплоти обчислюється за формулою (2.50).

$$R_{\uparrow\uparrow} = \frac{0,04806 + 0,00979 + 0,0089 + 0,00445 + 0,0088}{\frac{0,04806}{0,66} + \frac{0,00979}{0,27} + \frac{0,0089}{0,41} + \frac{0,00445}{0,52} + \frac{0,0088}{0,27}} = 0,47 \text{ м}^2 \cdot \text{град/Вт.}$$

2 Розрахунок при умовному перерізі шлакобетонного каменю площинами, перпендикулярними потоку теплоти.

Шар 1. Поздовжні шлакобетонні стінки каменю з урахуванням швів розчину і горизонтальної діафрагми.

Площа шлакобетону в шарі 1, через яку проходить потік теплоти:

$$F_{1ш} = 0,39 \cdot 0,19 = 0,0741 \text{ м}^2.$$

Площа розчину:

$$F_{1р} = 0,19 \cdot 0,01 + 0,4 \cdot 0,01 = 0,0059 \text{ м}^2.$$

Сумарна площа шару:  $F_1 = 0,0741 + 0,0059 = 0,08 \text{ м}^2$ .

Термічний опір:

$$R_1 = (0,065 + 0,058) / 0,7 \approx 0,18 \text{ (м}^2 \text{ град) / Вт}.$$

Шари 2 і 3. Щілинні пустоти каменю з врахуванням шлакобетонних стінок, що їх роз'єднують, а також швів розчину і горизонтальної діафрагми.

Приведена площа повітряних прошарків:

$$F_{2В} = ((0,075 \cdot 2 + 0,145) \cdot 2 + 0,39 - 0,045 + 0,025) / 3 \cdot 0,178 = 0,0539 \text{ м}^2.$$

Площа поверхні шлакобетону і розчину:

$$F_{2шр} = \left( \frac{0,045 \cdot 3}{3} + \frac{0,025 \cdot 5}{3} \right) \cdot 0,178 + 0,4 + 0,2 + 0,012 \cdot 0,39 = 0,0261 \text{ м}^2.$$

Загальна площа:  $0,0539 + 0,0261 = 0,08 \text{ м}^2$ .

Термічний опір трьох повітряних прошарків:

$$R_{В.П.} = 0,16 \cdot 3 = 0,48 \text{ (м}^2 \text{ град) / Вт}.$$

Шлакобетону:

$$R_{2ш} = 0,067 / 0,7 = 0,096 \text{ (м}^2 \text{ град) / Вт}.$$

Середнє значення термічного опору шарів 2 і 3:

$$R_{2,3} = \frac{0,08}{\frac{0,0539}{0,48} + \frac{0,0261}{0,096}} = 0,21 \text{ (м}^2 \text{ град) / Вт}.$$

В цілому термічний опір пустотного шлакоблока при перерізі конструкції площинами перпендикулярними вектору теплового потоку обчислюється як сума термічних опорів послідовно розташованих шарів:

$$R_{\perp} = 0,18 + 0,21 = 0,39 \text{ м}^2 \text{ град / Вт}.$$

Значення  $R_{\uparrow\uparrow}$  і  $R_{\perp}$  відрізняються на:  $(0,47-0,39) / 0,47 \cdot 100\% = 17\%$ .

$17\% < 25\%$ , отже, середню приведену величину термічного опору кладки зі шлакобетонного каменю з щілинними пустотами можна визначити за формулою (2.59):

$$R_0^{пр} = (0,47 + 2 \cdot 0,39) / 3 = 0,42 \text{ (м}^2\text{град)/Вт.}$$

### 2.11.2 Визначення температури внутрішньої поверхні у зовнішньому куті

На рис. 2.16 приведена схема розташування ізотермічних поверхонь у зовнішніх стінах, що утворюють кут будинку. Безпосередньо у внутрішньому куті температура значно нижче, ніж температура на внутрішній поверхні безпосередньо стіни.

Дослідження і розрахунки показали, що в діапазоні термічних опорів захисних конструкцій  $R_0$  від 0,5 до 2,5 (м<sup>2</sup> град)/Вт температура внутрішньої поверхні зовнішнього кута з достатнім ступенем точності може бути визначена за наближеною формулою:

$$\tau_{в.кут} = \tau_{в} - 0,18 (1 - 0,23 R_0) (t_{в} - t_{н}), \quad (2.53)$$

де  $\tau_{в}$  - температура на внутрішній поверхні безпосередньо стіни.

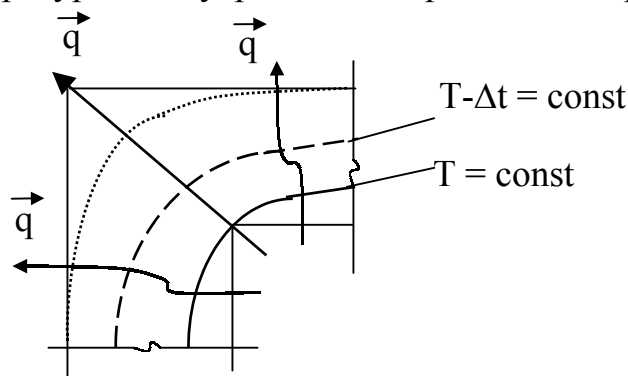


Рисунок 2.16 - Двовимірне температурне поле в зовнішніх стінах, що утворюють кут будинку

Значення  $\tau_{в.кут}$  повинно бути не нижче температури точки роси. В іншому випадку можливе утворення конденсату з пари води, що міститься в повітрі. Якщо  $\tau_{в.кут} < t_{т.р.}$ , то для запобігання утворення конденсату, а іноді навіть інею, необхідно прийняти відповідні міри. До них можна віднести таке:

1. Встановлення в куті призматичної вставки з матеріалу з низьким значенням коефіцієнта теплопровідності.
2. Заокруглення кута зсередини. Радіус заокруглення звичайно складає не менше 0,3 м.
3. Заокруглення і внутрішнього, і зовнішнього кутів радіусами не менше 0,5 м.

4. Збільшення товщини стін поблизу кутів (пристрій пілястр).

5. Встановлення стояків системи опалення в кутах, утворених зовнішніми стінами будинку.

Останній спосіб є дуже розповсюдженим, а іноді і єдино можливим для сучасних панельних повнозбірних будинків.

## **2.12 Визначення температур при наявності теплопровідних включень**

Теплопровідним включенням називають елемент захисної конструкції з коефіцієнтом теплопровідності істотно більшим, ніж основного матеріалу.

При розгляданні конструкції з теплопровідним включенням найбільш важливими є два питання: яка буде нижча температура на внутрішній поверхні захисної конструкції в зоні включення; і які будуть тепловтрати через цю зону.

В СНиП II-3-79\*\* розглянуті типові схеми [3, стор.27] і наведені нормативні формули для розрахунку температур на поверхнях цих включень (п. 2.11\*, стор.8). Значення температури внутрішньої поверхні захисної конструкції в зоні теплопровідного включення, як і для кутів будинку, повинні бути не нижче температури точки роси. Для запобігання утворення конденсату необхідно здійснювати утеплення зон з теплопровідними включеннями (стиків, швів, діафрагм і т.п.).

## **2.13 Розрахунок нестационарних процесів теплопередачі через захисні конструкції**

Розглянуті раніше формули для розрахунків захисних конструкцій при стаціонарному тепловому режимі припускають незмінними в часі температури зовнішнього і внутрішнього повітря. У цьому випадку тепловтрати приміщень можна вважати рівними потужності системи опалення. На практиці температура зовнішнього повітря безупинно змінюється, що викликає відповідні зміни температур внутрішніх поверхонь захисних конструкцій і внутрішнього повітря.

Значні коливання як температури внутрішнього повітря, так і захисних конструкцій, можуть несприятливо позначатися на самопочутті людини і вплинути на його здоров'я. Для багатьох виробництв, зокрема, підприємств точної механіки, мікроелектроніки коливання температури не повинні виходити за рамки досить вузьких діапазонів.

Зазначені причини вимагають при проектуванні будинків і споруд обліку їх теплоінерційних властивостей.

Захисні конструкції змінюють температуру у своїй товщі з різною швидкістю в залежності від їхньої маси, теплопровідності і теплоємності конструкційних матеріалів і ін. Періодичні і значні за своєю величиною коливання температури зовнішнього і внутрішнього повітря визначають

додаткові вимоги крім тих, котрі пред'являються розрахунками для сталих потоків теплоти. Теплофізичні розрахунки нестационарних процесів теплопередачі захисних конструкцій, експериментальні дослідження, практика експлуатації привели до створення теорії тепловитривалості.

У теорії тепловитривалості розглядаються методи розрахунків коливання температур у захисних конструкціях і приміщеннях при періодичних теплових впливах. До таких впливів звичайно відносять добові коливання температури зовнішнього повітря в літній період, різке, тривалістю в кілька діб, зниження температури взимку.

**Тепловитривалістю** називають властивість захисних конструкцій зберігати відносну сталість температури внутрішнього повітря при коливаннях теплового потоку.

Тепловитривалість захисної конструкції є фундаментальною проблемою будівельної теплофізики, що у даний час розроблена досить повно. Є точне аналітичне рішення задачі про передачу температурних коливань через багатошарові захисні конструкції. Маючи дані про коливання температури зовнішнього повітря, коефіцієнти теплообміну  $\alpha_H$  і  $\alpha_B$ , всі характеристики самої захисної конструкції можна розрахувати зміни температури в будь-якому перерізі, у тому числі на внутрішній поверхні захисної конструкції.

Розрахунок чи точні формули нескладні, але для його проведення потрібно користуватися комплексними числами, гіперболічними функціями, використовувати спеціальні формули або таблиці чи графіки. Крім того, при проектуванні вихідні дані задаються, як правило, приблизно, у зв'язку з цим велика точність розрахунків виявляється взагалі необґрунтованою і непотрібною. Тому на практиці звичайно користуються наближеним інженерним методом.

### **2.13.1 Інженерний метод розрахунку теплостійкості захисної конструкції**

Умови теплопередачі через захисну конструкцію часто відрізняються від стаціонарних. Температура зовнішнього повітря постійно змінюється (при цьому виникають добові, сезонні та інші за тривалістю коливання). Температура внутрішнього повітря може коливатись при зміні тепловіддачі нагрівальних приладів, а також побутових теплових виділень. Ці коливання температури часто близькі до гармонійних. Під їх впливом в захисній конструкції здійснюються зміни температур та теплових потоків, спостерігаються складні явища нестационарної теплопередачі.

Властивість захисної конструкції чинити опір змінам температури та теплових потоків називається **теплостійкістю**.

Теплостійкість захисної конструкції проявляється в гасінні хвилі коливання температури, яка проходить через нього. За напрямком руху температурної хвилі амплітуда її змінюється (зменшується) та при визначених умовах може повністю зникнути в товщі захисної конструкції.



Здатність захисної конструкції періодично акумулювати та віддавати тепло під впливом гармонічних коливань температури його поверхні визначають коефіцієнтом теплосвоєння  $Y$ . Він рівний відношенню амплітуди коливання теплового потоку, який проходить через поверхню  $A_g$  до амплітуди коливання температури внутрішньої поверхні  $A_{тв}$ .

Якщо конструкція однорідна і має велику товщину, то коефіцієнт теплосвоєння  $Y$  є однією із теплових характеристик матеріалу цієї захисної конструкції.

Коефіцієнт теплосвоєння:

$$Y = \frac{A_g}{A_{тв}} = \sqrt{\frac{2\pi\rho\lambda c}{T}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C}) \quad (2.54)$$

де  $\lambda$  - теплопровідність матеріалу ( $\text{Вт}/\text{м}^2\text{°C}$ );

$c$  - питома теплоємність матеріалу ( $\text{Вт}/\text{кг °C}$ );

$\rho$  - густина,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$T$  - період коливань, год.

Найбільш характерними для теплового режиму приміщень є добові коливання температури з періодом 24 години, для яких

$$Y = 0,51 \sqrt{\lambda c \rho}. \quad (2.55)$$

Колівання температурної хвилі за напрямком її руху через товщу захисної конструкції зменшуються за величиною та запізнюються з часом. Амплітуда коливання температури на внутрішній поверхні захисної конструкції  $A_{тв}$  буде значно менше амплітуди коливання зовнішньої температури  $A_{тз}$ . Співвідношення цих амплітуд приймають за показник наскрізного затухання коливань в захисній конструкції  $\nu$ . Величина  $\nu$  залежить від теплостійкості захисної конструкції та наближено може бути визначена:

$$\nu = A_{тз} / A_{тв} \approx 2^D (0,83 + 3 \sum R_n / D) \beta_{пн} \beta_{ш}, \quad (2.56)$$

де  $D$  - показник теплової масивності захисної конструкції

$$D = \sum R_n Y_n, \quad (2.57)$$

де  $R_n$  - опір теплопровідності шарів захисної конструкції,  $\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$ ;

$Y_n$  - коефіцієнт теплосвоєння матеріалів цих шарів,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ .

Коефіцієнт  $\beta_{пн}$  враховує можливу наявність в захисній конструкції повітряних прошарків:

$$\beta_{пн} = 1 + 0,5 R_{пн} D / \sum R_n, \quad (2.58)$$

де  $R_{пн}$  - опір повітряних прошарків в захисній конструкції.

Якщо в захисній конструкції немає повітряних прошарків, то  $\beta_{пн} = 1$ .

Коефіцієнт  $\beta_{ш}$  враховує послідовність розшарування шарів матеріалу в багатошаровій захисній конструкції:

$$\beta_{ш} = 0,85 + 0,15 Y_2 / Y_1, \quad (2.59)$$

де  $Y_1$  та  $Y_2$  - коефіцієнти теплосвоєння відповідно першого та другого заходів температурної хвилі шарів в захисній конструкції (Додаток Г).

Найчастіше приходится розглядати випадок теплопередачі через захисні конструкції, коли температура зовнішнього повітря змінюється, а температура внутрішнього повітря постійна.

При правильних гармонічних коливаннях (рис. 2.17) температура зовнішнього повітря  $t_H$  змінюється біля свого середнього значення  $t_{H0}$  з періодом  $Z$  так, що в будь-який момент часу  $\vartheta$ , год, її величина дорівнює:

$$t_H = t_{H0} + A_{tH} \cos ( 2\pi\vartheta / z ) , \quad (2.60)$$

де  $A_{tH}$  - максимальне відхилення температури від її середнього значення амплітуди коливання температури зовнішнього повітря, °С;

$Z$  - період коливань температури.

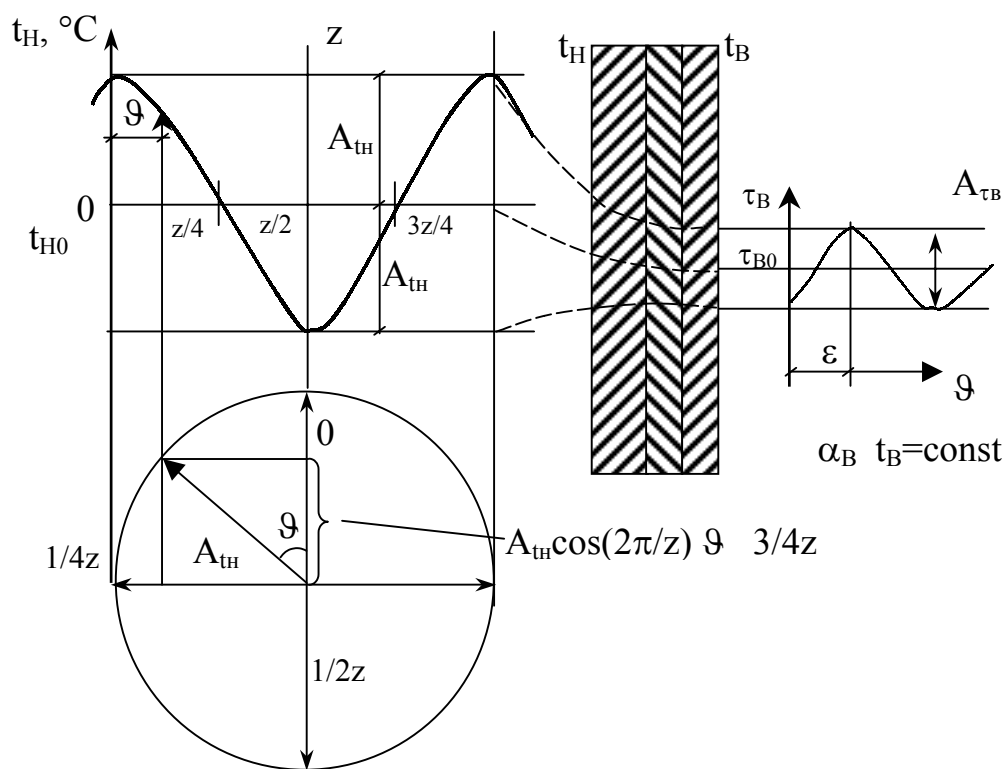


Рисунок 2.17 - Затухання температурних коливань в захисній конструкції

У такий же спосіб можуть бути описані у вигляді формул і представлені у векторній формі правильні гармонічні зміни температур і теплових потоків у будь-якому перерізі захисної конструкції.

Коливання температури зовнішнього повітря викликають зміни теплових потоків і температури на поверхні та у товщі захисної конструкції. Ці зміни будуть також правильними гармонічними коливаннями з періодом  $Z$ .

Амплітуди коливань температури в товщі захисної конструкції зменшуються з віддаленням від зовнішньої поверхні. На деякій відстані в довільному перерізі  $x$  захисної конструкції величина амплітуди  $A_{tx}$  зміни температури  $t_x$  буде в  $v_x$  раз менша  $A_{tH}$ :

$$v_x = A_{tH} / A_{tx}. \quad (2.61)$$

Величина  $v_x$  називається показником загасання температурних коливань. Його величина показує у скільки разів загасають температурні коливання, пройшовши шар матеріалу від перерізу  $x = 0$  до перерізу  $x$ .

В часі (по фазі) коливання будуть відставати від змін температури зовнішнього повітря на  $\varepsilon$  ч. Якщо початок відліку часу прийняти збіжним з початком періоду зміни  $t_H$ , то зміна температури в перерізі  $x$  буде визначатися рівнянням:

$$t_x = t_{x0} + A_{tx} \cos ( 2\pi(\vartheta - \varepsilon_x) / z ). \quad (2.62)$$

Поряд з температурою в захисній конструкції змінюються і величини теплових потоків. Вони також змінюються біля середнього значення за законом косинуса, маючи амплітуду  $A_q$ .

Амплітуда коливань температури  $A_t$  залежить від амплітуди коливань потоку тепла  $A_q$ , періоду коливань  $z$  і теплофізичних властивостей захисних конструкцій.

Якщо розглянути зміну теплового потоку і температури внутрішньої поверхні в часі, то можна помітити, що коливання температури запізнюються в порівнянні з коливаннями потоку теплоти.

На рис. 2.18 показана зміна амплітуди коливань температури внутрішньої поверхні  $A_t$  при коливаннях теплового потоку  $q$  з амплітудою  $A_q$  і періодом  $z$ . Варто підкреслити, що з поглибленням усередину конструкції, амплітуда  $A_t$  зменшується, а тимчасове запізнювання  $\varphi$  зростає.

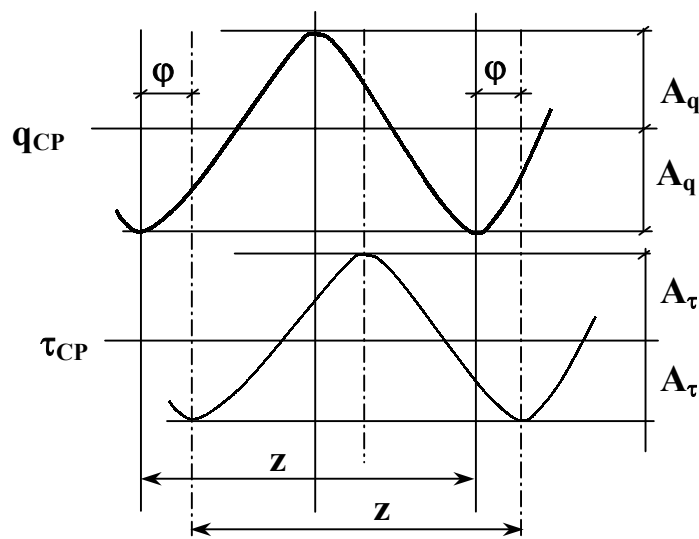


Рисунок 2.18 - Коливання потоку теплоти і значень температури на поверхні захисної конструкції

Кількісно теплостійкість оцінюють коефіцієнтом теплосвоєння поверхні захисної конструкції.

Коефіцієнт теплосвоєння  $Y$  дорівнює відношенню амплітуди коливань теплового потоку  $A_q$  до амплітуди коливань температури  $A_\tau$  на поверхні захисної конструкції:

$$Y = A_q / A_\tau. \quad (2.63)$$

Чим менше період коливання потоку теплоти і її частка, що відводиться вглиб конструкції, тим більша кількість теплоти періодично впливає на поверхню захисної конструкції, викликаючи коливання її температури. Це кількість теплоти, що впливає на зміну зазначеної температури, виражається коефіцієнтом теплосвоєння  $Y$  поверхні, що сприймає потік теплоти.

Коефіцієнт теплосвоєння  $Y$  чисельно дорівнює амплітуді коливань теплового потоку, сприйманого внутрішньою поверхнею захисної конструкції при амплітуді коливань температури поверхні в 1К.

Коефіцієнт теплосвоєння за своїм фізичним змістом є коефіцієнтом теплосприймання (теплообміну) в умовах передачі через поверхню конструкції періодичних теплових впливів, що відбуваються тільки шляхом теплопровідності. Величина  $Y$  залежить від періоду теплових впливів, а також від властивості матеріалу і конструкції, а тому не є звичайною теплофізичною константою матеріалу, як наприклад, коефіцієнти теплопровідності і температуропровідності.  $Y$  зв'язаний зі зміною температури поверхні конструкції і її окремих шарів, а аж ніяк не з кількістю теплоти, що акумулює захисна конструкція.

В однорідному шарі досить великої товщини, де практично не позначається вплив умов на поверхні,  $Y$  залежить тільки від властивостей матеріалу шару. У межах цієї частини (її називають «зоною регулярних коливань» чи «шаром різких коливань температури») величина  $Y$  дорівнює коефіцієнту теплосвоєння матеріалу шару  $s$ , Вт/м<sup>2</sup>·К). Величина коефіцієнта теплосвоєння матеріалу залежить від фізичних властивостей матеріалу і періоду коливання теплових впливів.

Чисельні значення саме  $s_{24}$  приведені в СНиП II-3-79\*\* для умов експлуатації А и Б.

$$\text{Для } z = 12 \text{ ч: } s_{12} = 0,72 \cdot \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}. \quad (2.64)$$

Зі зменшенням періоду коливань у  $n$  раз величина  $s$  зростає в  $\sqrt{n}$  раз.

Колівання температури, що відбуваються на поверхні, поширюються в товщині захисної конструкції із загасанням, причому величина цього загасання визначається теплоінерційністю матеріалів і захисної конструкції, у цілому.

### 2.13.2 Теплова інерція захисної конструкції

В розрахунках, згідно з СНиП, використовують температури зовнішнього повітря в залежності від показника теплової масивності (табл. 2.2).

Для окремих географічних пунктів (за СНиП) в якості розрахункових зовнішніх температур:

$t_{\min}$ – абсолютна мінімальна температура;	Для Києва - 32°C
$t_1$ - середня температура найхолоднішої доби;	- 26°C
$t_3$ - середня тридобова температура;	- 24°C
$t_5$ - середня п'ятидобова температура;	- 21°C.

Таблиця 2.2 – Показник теплової масивності **D**

Характеристика захисних конструкцій за масивністю	Показник теплової масивності <b>D</b>	Розрахункова температура $t_3$
Легкі	$\leq 1,5$	$t_{\min}$
Малої масивності	1,51 – 4,0	$t_1$
Середньої масивності	4,01 – 7,0	$t_3$
Масивні	$> 7$	$t_5$

З цих чотирьох значень температур розрахункову температуру приймають в залежності від теплової масивності **D**.

Коливання температури в приміщеннях, які не опалюються, завжди будуть менші ніж зміни зовнішньої температури. Тому, при значеннях  $n \leq 0,7$  треба приймати  $t_3 = t_5$  незалежно від величини **D** захисної конструкції.

Визначення опору теплопередачі проводиться за формулою:

$$R_{O \text{ вим}} = R_B \frac{n(t_B - t_3)}{\Delta t^n} = \frac{n(t_B - t_3)}{\Delta t^n \alpha_B}, \quad (2.65)$$

Мірою інтенсивності загасання коливань температури усередині однорідної конструкції є величина, що представляє добуток термічного опору на коефіцієнт теплосасвоєння. Теплова інерція (чи умовна товщина) захисних конструкцій кількісно оцінюється безрозмірним параметром  $D = R \cdot s = \delta/\lambda$  для одношарових захисних конструкцій. Теплова інерція виявляється у властивості конструкції зберігати чи повільно змінювати розподіл температур, характерний для середніх температурних умов навколишньої повітряного середовища.

Для багатошарових конструкцій аналітичний розрахунок інтенсивності загасання значно складніший, ніж для одношарових. Оцінювання теплової інерції для них здійснюється за наближеним виразом:

$$D = R_1 \cdot s_1 + R_2 \cdot s_2 + R_3 \cdot s_3 + \dots + R_n \cdot S_n. \quad (2.66)$$

Наближеність формули (2.64) пов'язана з тим, що цією формулою не враховується порядок розташування в конструкції окремих конструктивних шарів з різним теплозасвоєнням і термічним опором.

У відповідності зі СНиП II-3-79\*\* "Будівельна теплотехніка" раніше теплова інерція **D** враховувалася у формулі для обчислення необхідного опору теплопередачі.

В даний час, у зв'язку з прийняттям нових норм для необхідного опору теплопередачі, у розрахунках тепловитривалості розрахункова зимова температура зовнішнього повітря не залежить від масивності споруди і приймається рівною середній температурі найхолоднішої п'ятиденки забезпеченістю 0,92 (Додаток Ж).

Таблиця 2.3 - Вибір розрахункової зимової температури зовнішнього повітря

Теплова інерція <b>D</b> захисної конструкції	Розрахункова зимова температура зовнішнього повітря $t_3$ , °C
До 1,5 (безінерційна)	$t_1^{0,98}$ – середня температура найхолоднішої доби із забезпеченням 0,98
Понад 1,5 до 4 (малої інерційності)	$t_1^{0,92}$ – середня температура найхолоднішої доби із забезпеченням 0,92
Понад 4 до 7 (середньої інерційності)	$t_3$ – середня температура найхолодніших трьох діб
Понад 7 (великої інерційності)	$t_5^{0,92}$ – середня температура найхолодніших п'яти діб із забезпеченням 0,92

Примітка до таблиці 2.3. Середня температура найхолодніших трьох діб  $t_3$  визначається за формулою

$$t_3 = 0,5 (t_1^{0,92} + t_5^{0,92}) . .$$

Розрахунок тепловтрат будинків і теплової потужності системи опалення також здійснюється за цією температурою.

Розглядаючи поширення коливань температури в товщині захисної конструкції можна виділити "шар різких коливань температури". Цей шар безпосередньо прилягає до поверхні, що сприймає коливання теплового потоку.

Встановлено, що усередині шару різких коливань для однорідної конструкції амплітуда загасає приблизно в 2 рази.

Теплова інерція **D** для шару різких коливань приймається рівною одиниці, тобто **D = R·s = 1**.

Таким чином, товщина шару різких коливань:  $\delta = \lambda/s$ .

Якщо конструкція набагато товща шарів різких коливань, то її вважають товстою і припускають, що  $Y = s$ . На поширення періодичних теплових коливань основний вплив мають теплофізичні властивості матеріалу шару різких коливань. Інші шари матеріалів впливають на теплосасвоєння дуже незначно.

### 2.13.3 Характерні випадки визначення коефіцієнта теплосасвоєння $Y$

При розрахунках коефіцієнта теплосасвоєння  $Y$  у багат шарових захисних конструкціях враховують тільки активну частину захисної конструкції, яку охоплює шар різких коливань.

При визначенні  $Y_n$  довільного перерізу  $n$  в захисній конструкції можуть зустрітися такі характерні випадки (на прикладі передачі температурних коливань убік приміщення):

а) якщо для стін, покриттів теплової інерція першого шару з внутрішньої сторони приміщення  $D \geq 1$ , то  $Y_1 = s_1$ ,

б) якщо шар різких коливань захоплює другий від заданої поверхні шар, тобто  $D_1 + D_2 \geq 1$ , то коефіцієнт теплосасвоєння обчислюється за формулою:

$$Y_1 = \frac{R_1 \cdot s_1^2 + s_2}{1 + R_1 \cdot s_2}, \quad (2.67)$$

в) якщо шар різких коливань захоплює 3-й, 4-й і т.д. -  $n$  шарів, то коефіцієнти теплосасвоєння визначаються послідовно, починаючи з  $n+1$  шаруючи:

$$Y_n = \frac{R_n \cdot s_n^2 + Y_{n+1}}{1 + R_n \cdot Y_{n+1}}, \quad (2.68)$$

г) якщо для всієї конструкції  $\sum D_n < 1$ , розрахунок ведуть також як і в третьому випадку, а коефіцієнт внутрішнього шару захисної конструкції визначають як:

$$Y_1 = \frac{R_1 \cdot s_1^2 + \alpha_B}{1 + R_1 \cdot \alpha_B}. \quad (2.69)$$

д) якщо захисна конструкція цілком чи її окремий шар практично не мають теплової інерції (наприклад, вікно, повітряний прошарок в захисній конструкції), то коефіцієнт теплосасвоєння для них дорівнює:

$$Y = \frac{Y_{n+1}}{1 + R_n \cdot Y_{n+1}}. \quad (2.70)$$

де  $Y_{n+1}$  у випадку вікна дорівнює  $\alpha_B$ , а у випадку повітряного прошарку - коефіцієнту теплосасвоєння поверхні шару, що розташований за повітряним прошарком, тому що розрахунковий коефіцієнт теплосасвоєння повіт-

ряних прошарків приймається рівним нулю;

е) якщо захисна конструкція піддається по обидва боки впливу періодичних температурних коливань (внутрішні конструкції, перегородки, міжповерхові перекриття) і його умовна товщина  $D < 2$ , то його поділяють на дві частини з однаковими умовними товщинами. Розрахунок теплосасвоєння ведуть з кожної поверхні до шару  $m$ , у межах якої пройшла границя поділу - вісь теплової симетрії. Для поверхні шару  $m$  коефіцієнт  $Y_m$  визначають за загальною формулою, вважаючи за вісь симетрії коефіцієнт теплосасвоєння рівним нулю, тому:

$$Y_m = \frac{R_m \cdot s_m^2 + 0}{1 + R_m \cdot 0} = R_m \cdot s_m^2, \quad (2.71)$$

де  $S_m$  - коефіцієнт теплосасвоєння матеріалу шару, через який пройшла межа поділу;

$R_m$  - термічний опір частини шару  $m$  до осі симетрії.

У випадку, коли шар складається з декількох матеріальних включень, у розрахунках варто користуватися умовним коефіцієнтом теплосасвоєння, вважаючи його рівним середньозваженій величині по площах окремих включень.

#### **2.13.4 Розрахунок теплостійкості захисної конструкції у літній період**

Теплові впливи на зовнішню поверхню захисної конструкції у жаркий час року мають явно виражений періодичний характер. Необхідні теплофізичні якості захисних конструкцій при нестационарному прогріві можуть бути встановлені шляхом застосування основних положень теорії тепловитривалості. Коливання температур на зовнішній поверхні захисної конструкції поступово загасають у міру поширення вглиб конструкції. Загальна величина загасання по товщині конструкції виражається відношенням амплітуд коливань на зовнішній і внутрішній поверхнях захисної конструкції.

Поширення теплової хвилі в товщі конструкції вимагає визначеного часу, у зв'язку з чим максимальна температура на поверхні, повернутої в приміщення, визначається лише через кілька годин після найбільшого нагрівання зовнішньої поверхні.

Загасання температурних коливань на внутрішній поверхні внутрішнього шару захисної конструкції не може бути визначене незалежно від обліку особливостей усіх шарів конструкції, тому що воно залежить від впливу всіх конструктивних шарів, розташованих по шляху руху теплової хвилі. Тому розрахунок загасання теплових коливань усередині багатошарової конструкції необхідно починати з останнього конструктивного шару на шляху руху теплової хвилі і переходити послідовно від шару до шару, наближаючись до поверхні конструкції, що безпосередньо сприймає пері-



одичні теплові впливи. Це означає, що при розрахунку теплотривкості захисної конструкції у літніх умовах розрахунок починається з конструктивного шару, що граничить з повітрям приміщення.

1. Відповідно до вимог СНиП II-3-79\*\* у районах із середньомісячною температурою липня 21°C і вище амплітуда коливань температури внутрішньої поверхні захисної конструкції (зовнішніх стін з тепловою інерцією менше 4 і покриттів менше 5) будинків, у яких повинні дотримуватися оптимальні норми температури, не повинна перевищувати значення необхідної величини амплітуди, обумовленої за формулою:

$$A_{\text{тв}}^{\text{TP}} = 2,5 - 0,1(t_3 - 21), \quad (2.72)$$

де  $t_3$  - середньомісячна температура зовнішнього повітря за липень, °C, прийнята за СНиП 2.01.01-82 (таблиця «Температура зовнішнього повітря»).

2. Дійсну амплітуду коливань температури внутрішньої поверхні захисної конструкції визначають за формулою:

$$A_{\text{тв}} = A_{\text{тз}}^{\text{p03}} / v, \quad (2.73)$$

де  $A_{\text{тз}}^{\text{p03}}$  - розрахункова амплітуда коливань температури зовнішнього повітря, °C;

$v$  - величина загасання розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря в захисній конструкції

$$3. \quad A_{\text{тз}}^{\text{p03}} = 0,5 A_{\text{тз}} + \rho (I_{\text{max}} - I_{\text{cp}}) / \alpha_3, \quad (2.74)$$

де  $A_{\text{тз}}$  - максимальна амплітуда добових коливань температури зовнішнього повітря в липні, °C, приймається за додатком В [4];

$\rho$  - коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні захисної конструкції (див. табл. 6.3);

$I_{\text{max}}$ ,  $I_{\text{cp}}$  - кількість сонячної радіації, відповідно, максимальної в 12 годин та середньої за добу.

4. Кількість теплоти, що надходить від сонячної радіації, залежить від географічної широти місцевості, стану атмосфери, від розташування й орієнтації поверхні за сторонами світу. Для визначення прямої і розсіяної радіації використовуються усереднені дані багаторічних спостережень.

Розрізняють три види сонячної радіації:

- пряма частина променевої енергії, що надходить безпосередньо від сонця;

- частина сонячної енергії, розсіяна атмосферою і відбитої хмарами;

- відбита від землі і будинків частина енергії сонця.

Сума розсіяної і відбитої радіації називається дифузійною градацією.

Значення  $I_{\text{max}}$  і  $I_{\text{cp}}$  приймаються для зовнішніх стін як для вертикальних поверхонь відповідної орієнтації за сторонами, а для покриттів - як для горизонтальної поверхні в залежності від географічної широти розташування будівлі.

5. Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні захисної конструкції, за літніми умовами  $\alpha_3$ , Вт/(м<sup>2</sup>·град) обчислюється з виразу:

$$\alpha_3 = 1,16 \cdot (5 + 10 \cdot \sqrt{v}), \quad (2.75)$$

де  $v$  - мінімальна із середніх швидкостей вітру за румбами в липні, повторюваністю 16% і більше, але не менше 1 м/с. Приймається за додатком 4 [2].

6. Величина загасання коливань температури зовнішнього повітря в захисній конструкції визначається за формулою:

$$v = 0,9 e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{(s_1 + \alpha_B) \cdot (s_2 + Y_1) \dots (s_n + Y_{n-1}) \cdot (\alpha_3 + Y_n)}{(s_1 + Y_1) \cdot (s_2 + Y_2) \dots (s_n + Y_n) \cdot \alpha_3}, \quad (2.76)$$

де  $D$  - теплова інерція захисної конструкції;

$s_1, s_2, \dots, s_n$  - розрахункові коефіцієнти теплозасвоєння матеріалів окремих шарів, Вт/м<sup>2</sup>·град;

$Y_1, Y_2, \dots, Y_{n-1}, Y_n$  - коефіцієнти теплозасвоєння зовнішньої поверхні шарів захисної конструкції, Вт/(м<sup>2</sup>·град);

$\alpha_B = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·град),  $\alpha_3$  - те ж, що у формулі (2.75).

7. Шари захисної конструкції нумеруються від внутрішньої поверхні до зовнішньої.

8. Для визначення коефіцієнтів теплозасвоєння зовнішньої поверхні окремих шарів захисної конструкції варто попередньо обчислити теплову інерцію  $D$  кожного шару за формулою  $D = R \cdot s$ .

9. Коефіцієнт теплозасвоєння  $Y$ , Вт/(м<sup>2</sup>·град) зовнішньої поверхні шару тепловою інерцією  $D \geq 1$  приймається рівним коефіцієнту теплозасвоєння матеріалу цього шару  $s$ , Вт/(м<sup>2</sup>·град), який варто приймати за додатком Г [3].

Коефіцієнт теплозасвоєння зовнішньої поверхні шару  $Y$  з тепловою інерцією  $D < 1$  визначається послідовним розрахунком, починаючи з першого шару.

Для першого шару:

$$Y_1 = \frac{R_1 \cdot s_1^2 + \alpha_B}{1 + R_1 \cdot \alpha_B}; \quad (2.77)$$

Для  $i$ -го шару:

$$Y_i = \frac{R_i \cdot s_i^2 + Y_{i-1}}{1 + R_i \cdot Y_{i-1}}; \quad (2.78)$$

де  $R_1, R_i$  - термічні опори відповідно 1-го і  $i$ -го шарів захисної конструкції, м<sup>2</sup>·град/Вт;

$s_1, s_i$  - розрахункові коефіцієнти теплозасвоєння матеріалу відповідно 1-го і  $i$ -го шарів захисної конструкції, Вт/(м<sup>2</sup>·град);

$Y_1, Y_i, Y_{i-1}$  - коефіцієнти теплосасвоєння зовнішньої поверхні 1-го,  $i$ -го й  $i-1$ -го шарів захисної конструкції, Вт/(м<sup>2</sup>град).

10. Після розрахунку, дійсну амплітуду коливань температури внутрішньої поверхні  $A_{\text{тв}}$ , обчислену за формулою (2.73) порівнюють з нормованою необхідною  $A_{\text{тв}}^{\text{нп}}$ , обчислену за формулою (2.72). Якщо  $A_{\text{тв}}^{\text{нп}} > A_{\text{тв}}$ , то захисна конструкція, що розраховується, теплотривка в літній період експлуатації.

Приклади розрахунку теплотривкості захисних конструкцій у літній період експлуатації приведені в рекомендованій літературі [8] на стор. 57.

Відповідно до вимог СНиП II-3-79\*\* у районах із середньомісячною температурою липня 21°C й вище для вікон і ліхтарів будинків житлових, лікувальних закладів, пологових будинків, будинків дитини, інтернатів для старих і інвалідів, дитячих садків, ясел, а також промислових будівель зі строго нормованою температурою і вологістю внутрішнього повітря, варто передбачати сонцезахисні пристрої.

Коефіцієнт теплопропускання сонцезахисного пристрою  $\beta_{\text{сз}}^{\text{н}}$  повинен бути не більшим нормативної величини, установлені табл. 10 [1]. Коефіцієнти теплопропускання деяких сонцезахисних пристроїв приведені в додатку 8 [1].

### **2.13.5 Розрахунок теплостійкості приміщень у зимовому режимі експлуатації**

Кожне приміщення в будинку має кілька видів захисних конструкцій. Крім зовнішніх захисних конструкцій, наприклад зовнішніх стін, вікон чи інших закслених поверхонь, безгорищних покрівель, горищних перекриттів і підлог, влаштованих на ґрунті, є внутрішні конструкції, тобто перегородки і внутрішні несучі стіни, підлоги, влаштовані на міжповерхових перекриттях і т.д. Кожна з цих захисних конструкцій робить свій вплив на розподіл і коливання температур в опалюваних приміщеннях. Різкі коливання температури приміщень протягом доби небажані в гігієнічному відношенні; при проектуванні будинку такі коливання можуть бути обмежені шляхом поліпшення теплофізичних властивостей захисних конструкцій, з метою додавання приміщенням необхідної теплотривкості.

Теплостійкість приміщення - характеристика приміщення, що відбиває його властивість зберігати відносну сталість температур при коливаннях зовнішніх теплових чи впливів тепловіддачі опалювальних приладів. Чим менше коливання температури повітря в приміщенні, тим більше воно теплостійке.

Теплостійкість приміщень визначається теплостійкістю всіх захисних конструкцій, тепловою інерцією устаткування і матеріалів, що знаходяться в приміщенні. Як норму допустимих меж коливань температури внутрішнього повітря в зимовий час року встановлюють їх амплітуду:

$A_{\text{тв}}^{\text{нп}} = \pm 1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$  - для приміщень з центральними системами опалення;  
 $A_{\text{тв}}^{\text{нп}} = \pm 3,5 \text{ } ^\circ\text{C}$  - для пічного опалення.

Амплітуда коливань теплового потоку - є різниця між його максимальною і середньою величиною:

$$A_q = q_{\max} - q_{\text{ср}} \quad (2.79)$$

Оскільки коливання температури повітря в приміщенні, а також коливання швидкості його руху - відносно незначні, величини коефіцієнтів теплового сприйняття  $\alpha_B$  можуть бути прийнятими незмінними як у момент найбільшого нагрівання приміщення, так і в момент наявності в ньому середніх температур.

$$q_{\max} = \alpha_B (t_{\max} - \tau_{\max}), \quad q_{\text{ср}} = \alpha_B (t_B - \tau_B).$$

Підставляючи ці значення в рівняння (2.79), одержимо:

$$A_q = \alpha_B (t_{\max} - \tau_{\max}) - \alpha_B (t_B - \tau_B) = \alpha_B A_t - \alpha_B A_\tau \quad (2.80)$$

З теорії теплотривкості відомо, що амплітуда коливань температури на внутрішній поверхні зовнішньої захисної конструкції  $A_{\tau_B}$  і амплітуда коливань теплового потоку через цю поверхню  $A_q$  зв'язані виразом:

$$A_{\tau_B} = A_q / Y_B \quad (2.81)$$

Розв'язуючи рівняння (2.80) відносно  $A_q$  з урахуванням рівняння (2.81) можна одержати:

$$A_q = \frac{A_t}{\frac{1}{\alpha_B} + \frac{1}{Y_B}} = A_t \cdot B \quad (2.82)$$

де  $B$  - коефіцієнт теплопоглинання внутрішньої поверхні захисної конструкції, Вт/(м<sup>2</sup>·град), що дорівнює:

$$B = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_B} + \frac{1}{Y_B}}$$

Якщо прийняти, що значення  $\alpha_B$  постійні для внутрішніх поверхонь, то можна зробити висновок, що коефіцієнти теплопоглинання  $B$  визначаються тільки тими конструктивними шарами захисних конструкцій, що входять у «шар різких коливань температури». Цей коефіцієнт виражає загальна кількість теплоти, сприйманою поверхнею захисної конструкції при періодичних коливаннях температури, і установлює взаємозв'язок змін цієї кількості теплоти з коливаннями температури повітря приміщення.

Для всіх поверхонь захисної конструкції приміщення вираз (2.82) запишеться як :

$$A_Q = A_t \cdot \sum F_i \cdot B_i \quad (2.83)$$

де  $\sum F_i \cdot B_i$  - теплопоглинальна здатність приміщення.

Тобто,  $A_Q$  - амплітуда коливань теплоти, що віддається опалювальними приладами, Вт.

$$A_Q = m \cdot Q_z; \quad (2.84)$$

$m$  - коефіцієнт нерівномірності віддачі теплоти нагрівальними приладами (коефіцієнт нерівномірності надходження тепла в приміщення).

$$m = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{2Q_z}, \quad (2.85)$$

$Q_z$  - середня тепловіддача опалювальними приладами, рівна тепловтра-там даного приміщення:  $Q_z = \sum Q_i$ .

З рівнянь (2.83) і (2.84) одержуємо:

$$m \cdot \sum Q_i = A_t \cdot \sum F_i \cdot B_i,$$

звідкіля амплітуда коливань температури внутрішнього повітря в опалювальний період:

$$A_{\text{тв}} = \frac{m \cdot \sum Q_i}{\sum B_i F_i}. \quad (2.86)$$

Для внутрішніх перегородок коефіцієнт теплосасвоєння приймається з урахуванням термічного опору перегородки від її внутрішньої поверхні до осі, тобто враховується теплова інерція однієї половини перегородки, повернутої в приміщення (згідно з формулою 2.71).

$$Y_B = R_{\text{ПЕР}} \cdot S_{\text{ПЕР}}^2, \quad (2.87)$$

$$R_{\text{ПЕР}} = \delta_{\text{ПЕР}} / 2\lambda.$$

Для вікон і зашкленних зовнішніх дверей величина коефіцієнта тепло-вбирання порівнянна з коефіцієнтом теплопередачі і, відповідно, може бу-ти обчислена з виразу (2.70):

$$Y_B = \frac{1}{1,08 \cdot R_0^{\text{OK}}}, \quad (2.88)$$

де  $R_0^{\text{OK}}$  - термічний опір теплопередачі зашкленого прорізу,  $\text{м}^2 \cdot \text{град} / \text{Вт}$ .

Втрати теплоти через захисну конструкцію приміщень визначаються відповідно до вимог додатка 8 СНиП 2.04.05-86 "Опалення, вентиляція і кондиціонування". Сумарні тепловтрати приміщення визначаються виразом:

$$\sum Q_i = \sum Q_{\text{ЗК}} + Q_{\text{ИФ}} - Q_{\text{ПОБ}}, \quad (2.89)$$

де  $\sum Q_{\text{ЗК}}$  - сумарні втрати теплоти через захисні конструкції, Вт;

$Q_{\text{ИФ}}$  - втрати тепла на нагрівання інфільтруючого повітря, Вт;

$Q_{\text{ПОБ}}$  - побутові тепловиділення (тепло, що виділяється людьми та працюючими світильниками, приладами, устаткуванням і т.д.), Вт.

Якщо кількість повітря, що видаляється назовні системою вентиляції перевищує кількість інфільтруючого, то формула для розрахунку тепловтрат трохи видозмінюється і приймає вигляд:

$$\sum Q_i = \sum Q_{зк} + Q_{вен} - Q_{поб} , \quad (2.90)$$

$Q_{інф}$  і  $Q_{вен}$  визначаються відповідно до СНиП 2.04.05-86 "Опалення, вентиляція і кондиціонування" [3, додаток 9, стор. 49]

Варто звернути увагу, що при цьому розрахунку передбачається відсутність повітрообміну, що може впливати на коливання температури приміщень.

За результатами проведеного розрахунку порівнюють розраховану за формулою (2.86) амплітуду коливання температури внутрішнього повітря  $A_{тв}$  з нормованим значенням  $A_{тв}^{тп}$ .

Якщо  $A_{тв} < A_{тв}^{тп}$ , то приміщення теплостійке в зимовий період експлуатації.

### 2.13.6 Теплозасвоєння поверхні підлоги

Дуже важливі особливості теплообміну людського організму з поверхнею підлоги.

Якщо кількість тепла, що віддається поверхнею підлоги людській стопі менша кількості тепла, що виробляється теплорегулюючою системою організму, ноги охолоджуються, а в протилежному випадку ноги залишаються теплими. Це зумовлює підвищення ймовірності простудних, ревматичних і інших захворювань.

Особливості теплообміну стопи з поверхнею підлоги визначаються теплопоглинальною активністю цієї поверхні, тобто коефіцієнтом теплозасвоєння поверхні підлоги.

Показник теплозасвоєння поверхні підлоги  $Y_{п}^H$ , Вт/(м<sup>2</sup>град), не повинен перевищувати значень, нормованих у СНиП II-3-79\*\*, таблиця 11\*.

Порядок визначення показника теплозасвоєння поверхні підлоги такий.

1. Якщо покриття підлоги (перший, починаючи з приміщення, конструктивний шар) має теплову інерцію  $D_1 = R_1 \cdot s_1 \geq 0,5$ , то показник теплозасвоєння поверхні підлоги варто визначати за формулою:

$$Y_{п} = 2 s_1 ; \quad (2.91)$$

2. Якщо перші  $n$  шарів конструкції підлоги ( $n \geq 1$ ) мають сумарну теплову інерцію  $D_1 + D_2 + \dots + D_n < 0,5$ , але теплова інерція  $n+1$  шарів  $D_1 + D_2 + \dots + D_{n+1} \geq 0,5$ , то показник теплозасвоєння поверхні підлоги  $Y_{п}$  варто визначати послідовно розрахунком показників теплозасвоєння поверхонь шарів конструкції, починаючи з  $n$ -го до 1-го:

для  $n$ -го шару:

$$Y_n = \frac{2R_n \cdot s_n^2 + s_{n+1}}{0,5 + R_n \cdot s_{n+1}}; \quad (2.92)$$

для  $i$ -го шару:

$$Y_i = \frac{4R_i \cdot s_i^2 + Y_{i+1}}{1 + R_i \cdot Y_{i+1}}; \quad (2.93)$$

У вищенаведених формулах і нерівностях:

$D_1, D_2, \dots, D_n$  - теплова інерція відповідно 1-го, 2-го і  $n$ -го шарів;

$R_i, R_n$  - термічний опір  $i$ -го і  $n$ -го шарів,  $m^2 \cdot \text{град}/\text{Вт}$ ;

$s_1, s_i, s_n, s_{n+1}$  - розрахункові коефіцієнти теплосасвоєння матеріалів відповідних шарів конструкції підлоги,  $\text{Вт}/(m^2 \cdot \text{град})$ . Приймаються за додатком 3\* [1], причому для будинків і приміщень, приведених у поз. 1 і 2 таблиці 11\* [1], - у всіх випадках за умови експлуатації А.

$Y_i, Y_{i+1}$  - показники теплосасвоєння поверхні відповідних шарів конструкції підлоги,  $\text{Вт}/m^2 \cdot \text{град}$ .

Показник теплосасвоєння поверхні підлоги  $Y_{\Pi}$  приймається рівним показнику теплосасвоєння поверхні 1-го шару  $Y_1$ . І якщо, отримане значення вище нормованого (таблиця 11\* [1]), то варто утеплити конструкцію підлоги і провести розрахунок нової конструкції.

## 2.14 Оцінювання фактичної величини опору теплопередачі зовнішніх захисних конструкцій

Важливою енергозберігаючою характеристикою будівель є показник теплозахисту зовнішніх захисних конструкцій – приведений опір теплопередачі. Приведений опір теплопередачі визначають шляхом лабораторних випробувань зразків матеріалів або фрагментів будівельних конструкцій в кліматичних камерах та дослідженнями безпосередньо в натурних умовах експлуатації будівель.

Лабораторні випробування вимагають значних затрат матеріальних ресурсів та часу. Їх результати не характеризують достатньо достовірно теплозахисні властивості реальних об'єктів. Натурні дослідження більш достовірно характеризують фактичні теплотехнічні параметри зовнішніх захисних конструкцій, оскільки виконуються на реальних об'єктах в конкретних кліматичних умовах. Визначення опору теплопередачі захисних конструкцій в натурних умовах експлуатації дозволяє дати кількісну оцінку теплотехнічним характеристикам захисних конструкцій і перевірити їх відповідність нормативним вимогам.

Методи визначення опору теплопередачі в натурних умовах експлуатації будівель ґрунтуються на створенні в захисних конструкціях умов стаціонарного теплообміну та вимірювання температури зовнішнього повітря і всередині приміщення, температури поверхні захисних конструкцій та

щільності теплового потоку, який проходить через цю поверхню. За вимірними величинами обчислюють відповідні теплофізичні характеристики захисних конструкцій будівель.

Опір теплопередачі для термічно однорідної зони захисної конструкції обчислюють за формулою [2.94]

$$R_{oi} = R_{vi} + R_{zi} + R_{ki} = (t_{vi} - \tau_{vi}) \cdot q_{\phi i} + (\tau_{vi} - \tau_{zi}) \cdot q_{\phi i} + (\tau_{zi} - t_{zi}) \cdot q_{\phi i}, \quad (2.94)$$

де  $R_{vi}$ ,  $R_{zi}$  - відповідно, опір теплосприймання й тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхні захисної конструкції,  $m^2 \cdot K / W$ ;

$R_{ki}$  - термічний опір однорідної зони захисної конструкції,  $m^2 \cdot K / W$ ;

$t_{vi}$ ,  $t_{zi}$  - середні за розрахунковий період виміряні значення температур повітря, відповідно, всередині приміщення та зовні,  $^{\circ}K$ ;

$\tau_{vi}$ ,  $\tau_{zi}$  - середні за розрахунковий період виміряні значення температур, відповідно, внутрішньої і зовнішньої поверхні захисної конструкції,  $^{\circ}K$ ;

$q_{\phi i}$  - середня за розрахунковий період вимірювання фактична щільність теплового потоку, що проходить через характерну зону,  $W / m^2$ .

Проведення натурних досліджень для визначення температур зовнішньої поверхні захисної конструкції безпосередньо в точках, які відповідають місцям установлення перетворювача щільності теплового потоку на внутрішній поверхні захисного шару, практично неможливо. Це обумовлено технічними труднощами вимірювання температури зовнішньої поверхні захисного шару безконтактним термометром вище другого поверху, неможливістю правильного встановлення на зовнішній поверхні захисної конструкції точки для вимірювання температури, яка б відповідала місцю встановлення перетворювача щільності теплового потоку на внутрішній поверхні захисного шару та згладжуванням температурних аномалій за рахунок використання різних оздоблень фасаду будівель.

У випадках, коли неможливо визначити температуру зовнішньої поверхні захисних конструкцій, опір теплопередачі визначають за формулою

$$R_0 = (t_v - t_z) / q_{cp}, \quad (2.95)$$

де  $t_v$ ,  $t_z$  - середня температура повітря, відповідно, всередині та зовні приміщення,  $^{\circ}C$ ;

$q_{cp}$  - середня виміряна щільність теплового потоку, що проходить через захисний шар,  $W / m^2$ .

Приведений опір теплопередачі визначають для захисних конструкцій, що мають неоднорідні ділянки й відповідну їм нерівномірність температури поверхні за формулою

$$R_0 = \frac{F}{\sum (F_i / R_{oi})}, \quad (2.96)$$

де  $F$  - площа випробуваної захисної конструкції,  $m^2$ ;

$F_i$  - площа характерної ізотермічної зони,  $m^2$ ;



$R_{0i}$  - опір теплопередачі характерної зони, що його обчислюють за формулою (2.94) або (2.95),  $m^2 \text{ }^\circ\text{K}/\text{Вт}$ .

Допускається опір теплопередачі характерних зон обчислювати за формулою

$$R_{0i} = (t_B - t_3) / \alpha_B (t_B - \tau_B), \quad (2.97)$$

де  $t_B$ ,  $t_3$  - середні за розрахунковий період виміряні значення температури повітря, відповідно, всередині приміщення та зовні,  $^\circ\text{K}$ ;

$\tau_B$  - середнє за розрахунковий період значення виміряної температури внутрішньої поверхні захисної конструкції,  $^\circ\text{K}$ ;

$\alpha_B$  - коефіцієнт теплосприймання на внутрішній поверхні зовнішнього захисного шару,  $\text{Вт}/m^2 \text{ }^\circ\text{K}$ .

Приведений опір теплопередачі зовнішніх захисних конструкцій можна визначити контактним та безконтактним способами. Суть контактного способу полягає у визначенні величини щільності теплового потоку, який проходить через зовнішній захисний шар. Перетворювачі теплових потоків не менше, ніж двічі розміщують в центрі однорідних зон фрагментів захисних конструкцій. Їх розміщують рівномірно по термограмі в місцях з однаковим кольором, тобто на поверхнях з однаковою температурою (рис. 2.19). За середніми значеннями зафіксованої температури зовнішнього і внутрішнього повітря та середньою щільністю теплового потоку, який проходить через зовнішній захисний шар, обчислюють приведені опір теплопередачі захисних конструкцій.

При розрахунках величини приведеного опору теплопередачі виникають труднощі у визначенні площі термічно однорідних зон фрагментів зовнішнього захисного шару, що мають однаковий колір на термограмі. Недоліком цього способу є також установа перетворювача теплового потоку на поверхні зовнішнього захисного шару, оскільки у більшості випадків найбільш "холодна" кольорова зона має невеликі розміри та нечіткі границі.

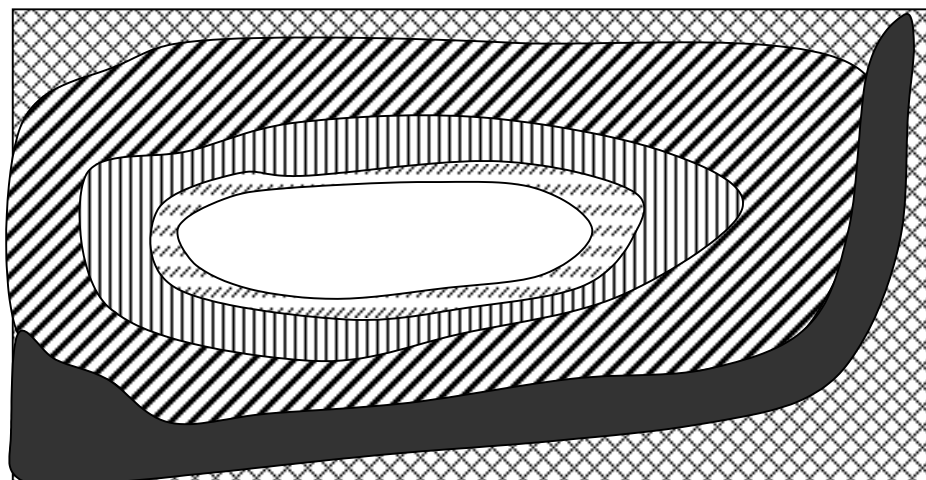


Рисунок 2.19 - Термограма розподілу температурних полів по внутрішній поверхні зовнішньої стіни

Безконтактний спосіб ґрунтується на вимірюванні температури внутрішньої поверхні захисних конструкцій портативними комп'ютерними термографами. Наприклад, портативний термограф "JRTIS-200" дозволяє фіксувати температуру поверхні захисної конструкції з точністю до 0,05°C в 65 536 точках на одному термозображенні.

Методика визначення приведенного опору теплопередачі зовнішніх захисних конструкцій автоматизованим безконтактним способом така.

Обстежувану захисну конструкцію розмічають ділянками, що зручні для термографування так, щоб при наступному обробленні отриманих результатів можна було відтворити цілісну картину зовнішнього захисного шару (рис. 2.20).

Послідовно виконують тепловізійні знімання кожної виділеної ділянки захисного шару (на рис. 2.20 показано ділянку пунктиром) з необхідною кількістю точок.

Для кожної виділеної ділянки захисного шару за температурою внутрішнього й зовнішнього повітря й коефіцієнтом теплосприймання у внутрішній поверхні обчислюють приведені опір теплопередачі

$$R_{0i}^{PP} = \frac{N}{\alpha_B [(t_B - \tau_{B1}) + (t_B - \tau_{B2}) + \dots + (t_B - \tau_{BN})] / (t_B - t_3)}, \quad (2.98)$$

$R_{01}^{PP}$ 1	$R_{02}^{PP}$ 2	$R_{03}^{PP}$ 3	$R_{04}^{PP}$ 4
$R_{05}^{PP}$ 5	$R_{06}^{PP}$ 6	$R_{07}^{PP}$ 7	$R_{08}^{PP}$ 8

Рисунок 2.20 – Послідовність і оброблення результатів термографування автоматизованим безконтактним способом

де  $N$  - кількість точок на одному термозображенні;

$\tau_{B1}, \tau_{B2}, \dots, \tau_{BN}$  - температура поверхні зовнішнього захисного шару, що визначається термографом в кожній точці термозображення, °C;

$\alpha_B$  - коефіцієнт теплосприймання біля внутрішньої поверхні захисних конструкцій, Вт/(м<sup>2</sup> °C);

$t_B, t_3$  - середня температура, відповідно, внутрішнього й зовнішнього повітря в період випробувань, °C.

Приведений опір теплопередачі всього зовнішнього захисного шару визначають за формулою

$$R_0^{PP} = \frac{R_{01}^{PP} + R_{02}^{PP} + \dots + R_{0N}^{PP}}{n}, \quad (2.99)$$

де  $n$  - кількість ділянок, що зручні для термографування.

Натурні дослідження за допомогою термографа дозволяють не тільки встановити фактичний рівень теплозахисту будівель, але й контролювати тепловий стан будівельних конструкцій та виявляти різні порушення однорідності їх структури, що призводять до змін процесів теплообміну з зовнішнім середовищем.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як здійснюється теплообмін людини з середовищем у приміщенні?
2. В чому полягає регульований мікроклімат?
3. Дати визначення оптимальних й допустимих мікрокліматичних умов.
4. В чому полягає тепловий режим будинку?
5. Навести системи кондиціонування мікроклімату.
6. Визначення теплопровідності.
7. Що таке конвекція?
8. В чому суть випромінювання?
9. В чому полягають основи теплопередачі?
10. В чому суть теплопередачі через захисну конструкцію?
11. Дати означення опору теплопередачі захисної конструкції.
12. Як здійснюються розрахунки передачі тепла через конструкцію з неоднорідним полем?
13. В чому суть коефіцієнта теплосвоєння.
14. Навести значення основних характеристик теплопередачі через захисну конструкцію.
15. В чому суть коефіцієнта теплообміну?
16. Що таке необхідний опір теплопередачі?
17. Навести криву змін температури зовнішнього повітря в холодний період року.
18. Як здійснюється визначення температур у будь-якій площині багатосарової захисної конструкції в умовах стаціонарної теплопередачі?
19. Як визначити опір повітряних прошарків?

20. Навести розрахунок термічного опору вертикальних геометричних повітряних прошарків.
21. В чому суть розрахунку термічного опору горизонтальних геометричних повітряних прошарків?
22. Як розрахувати термічні опори замкнутих повітряних прошарків?
23. Як здійснюється теплотехнічний розрахунок світлових перерізів?
24. Як здійснюється рішення стаціонарних задач теплопередачі через захисні конструкції при двомірному температурному полі?
25. Як здійснюється опір теплопередачі неоднорідних конструкцій?
26. Яким чином визначити температуру внутрішньої поверхні в зовнішньому куті?
27. Пояснити визначення температур при наявності теплопровідних включень.
28. Навести розрахунок нестационарних процесів теплопередачі через захисну конструкцію.
29. Як здійснюється інженерний метод розрахунку теплопровідності захисної конструкції?
30. В чому полягає суть теплової інерції огорожень?
31. Навести характерні випадки визначення коефіцієнту теплосвоєння.
32. Як здійснюється розрахунок теплостійкості захисних конструкцій у літній період?
33. Навести розрахунок тепловитривалості приміщень у зимовому режимі експлуатації.
34. Як здійснюється теплосвоєння поверхні підлог?
35. Як визначити приведений опір теплопередачі?
36. В чому суть контактного і безконтактного способу визначення величини щільності теплового потоку?
37. Який вигляд має термограма розподілу температурних полів?

### 3 ПОВІТРЯНИЙ РЕЖИМ БУДИНКІВ

#### 3.1 Повітропроникність конструкції

Під дією вітру і теплової напруги, яка виникає при різниці температур внутрішнього і зовнішнього повітря, можлива фільтрація холодного зовнішнього повітря, яка суттєво може змінити теплозахисні властивості захисної конструкції.

Фізичний механізм переносу речовини в капілярно-пористих матеріалах значно відрізняється від механізму переносу тепла.

Перенос повітря фільтраційного потоку виникає в випадках, коли різниця тиску на зовнішній і внутрішній поверхнях захисної конструкції перебільшує (за енергетичним рівнем) опір проходження повітряного потоку. Ці опори виникають на зовнішній поверхні стіни і в товщі захисної конструкції.

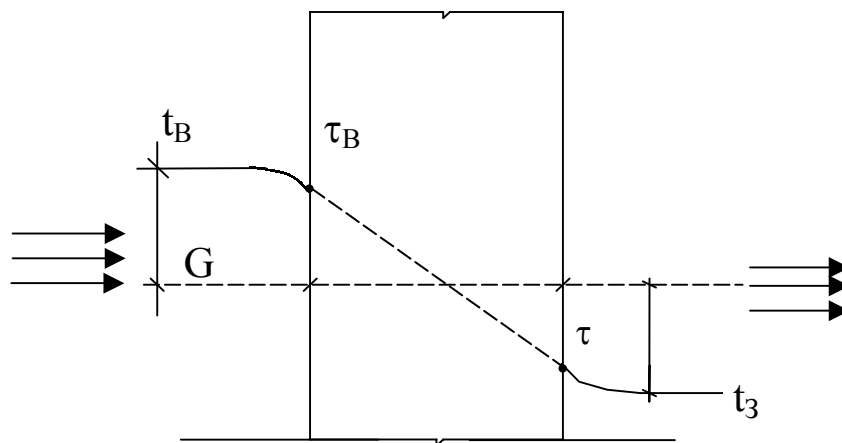


Рисунок 3.1 - Схема розподілу температур і потоків тепла при сталій фільтрації холодного повітря через стіну, яка виконана з пористих матеріалів

В якості константи повітропроникності матеріалів можна прийняти коефіцієнт повітропроникності  $i$ , який показує кількість повітря (кг), яке проходить через рівномірно пористий матеріал товщиною 1 см, перерізом  $1 \text{ м}^2$  протягом 1 години при різниці тиску 1 Па.

Коефіцієнт повітропроникності  $i$  [кг/(м·год·Па)] залежить від густини та структури матеріалу.

Розрахунки захисних конструкцій на повітропроникність здійснюються за опорами повітропроникності окремих шарів захисної конструкції.

Опір повітропроникності матеріалу:

$$R_i = \delta_i / i, \quad \text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па} / \text{кг}, \quad (3.1)$$

де  $\delta_i$  - товщина шару матеріалу, м;

$R_i$  - опір, який здійснює фільтрація захисної конструкції в цілому або її окремі шари (опір повітропроникності конструкції) (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Опір паропроникності листових матеріалів і тонких шарів пароізоляції

Матеріал	Товщина шару, мм	Опір паропроникності, м <sup>2</sup> ·ч·Па/мг
1 Листи азбестоцементні	6	0,3
2 Листи гіпсові обшивні (суха штукатурка)	10	0,12
3 Фарбування гарячим бітумом за один раз	2	0,3
4 Фарбування гарячим бітумом за два рази	4	0,48
5 Фарбування оліфою два рази з попереднім шпаклюванням та ґрунтуванням	-	0,64
6 Фарбування емалевою фарбою	-	0,48
7 Покриття ізольною мастикою один раз	2	0,6
8 Покриття бітумо-кукерсольною мастикою	1	0,64
9 Покриття бітумо-кукерсольною мастикою два рази	2	1,1

Опір повітропроникності захисної конструкції показує різницю тиску в Па, при якій потік повітря через 1 м<sup>2</sup> площі захисної конструкції буде дорівнювати 1 кг/год.

При наявності в захисних конструкціях декількох шарів її загальний опір повітропроникності :

$$R_{oi} = R_{i1} + R_{i2} + \dots + R_{in}, \quad (3.2)$$

де  $R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{in}$  - опори повітропроникності окремих шарів.

Значення опорів повітропроникності матеріалів і конструктивних елементів (або шарів) захисних конструкцій наводяться в СНиП "Строительная теплотехника" (додаток Л).

Фільтрація зовнішнього повітря через захисні конструкції в холодну пору року викликає додаткові витрати тепла приміщеннями і охолодження внутрішньої поверхні захисної конструкції

$$G = \Delta P / R_{от}, \quad \text{кг/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па} \quad (3.3)$$

В зв'язку з цим СНиП обмежує повітропроникність захисних конструкцій.

Кількість повітря, яке фільтрується через стіни і перекриття  $G_0$  [кг/м<sup>2</sup>·год·Па]:

$$G_0 = \Delta P / R_a; \quad (3.4)$$

Таблиця 3.2 - Допустимі значення повітропроникності захисних конструкцій

Захисні конструкції	$G_0^{вин}$ , (кг/м <sup>2</sup> год) при розрахунковій температурі зовнішнього повітря - 30°C і вище
Вікна житлових і громадських будинків	13
Зовнішні стіни та перекриття над переїздами та підпіллями житлових та громадських будинків	0,5
Зовнішні стіни виробничих приміщень, які опалюються	1
Дахові перекриття	0,65

де  $\Delta P$  – різниця тиску, Па

Кількість повітря, яке фільтрується через вікна

$$G_0 = \frac{-A + \sqrt{A^2 + 0,4 \cdot B \cdot \Delta P}}{2B}, \quad (3.5)$$

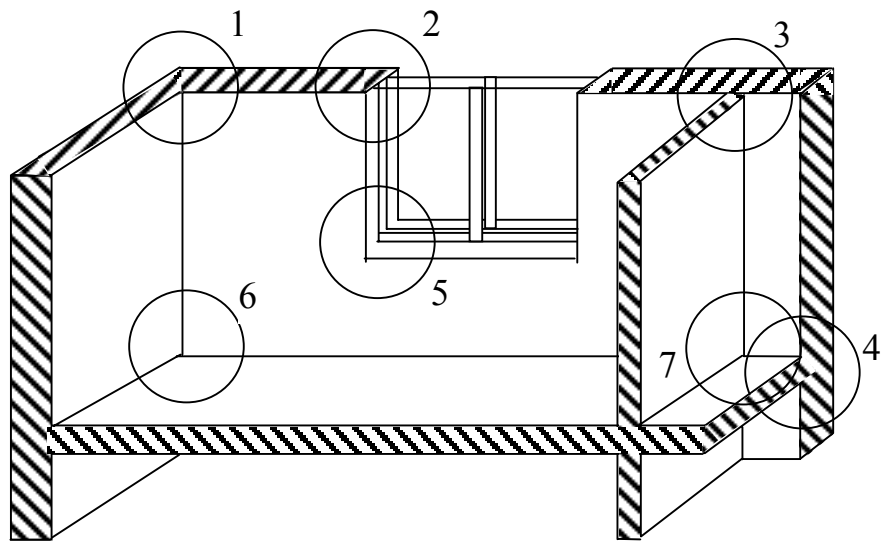
де  $A$  та  $B$  - параметри, які приймають за табл. 3.3 (при  $\Delta P=10$  Па).

### 3.2 Повітряний режим будинку

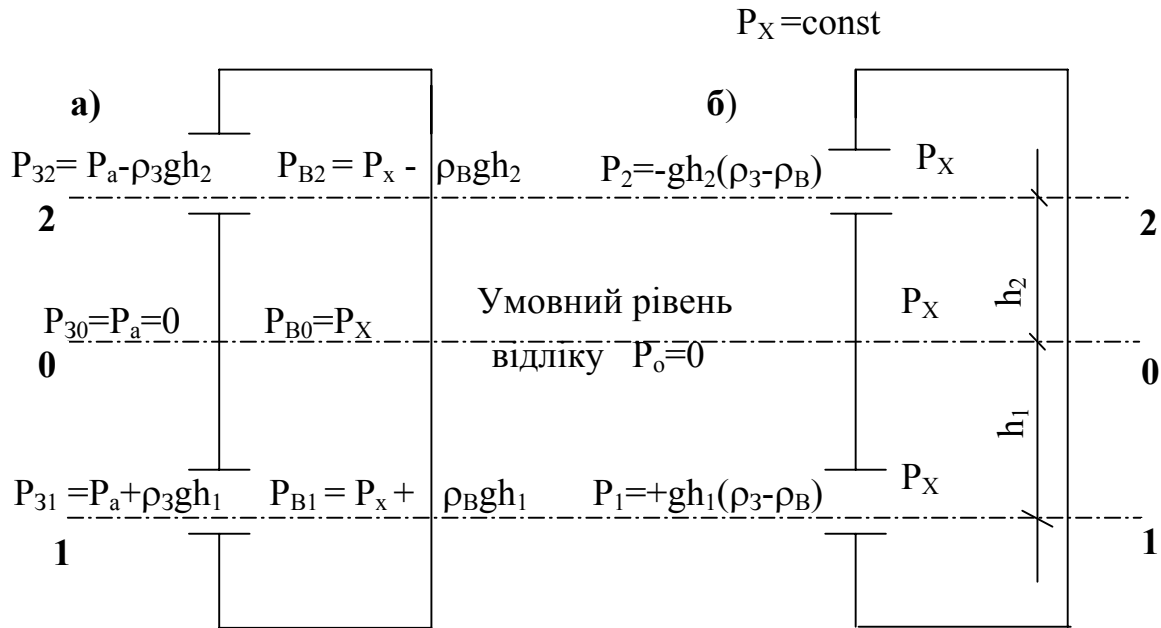
Повітряним режимом будинку називають сукупність факторів і явищ, які визначають загальний процес обміну повітря між всіма його приміщеннями і зовнішнім повітрям.

Природними силами, які викликають рух повітря в будинку, є гравітаційний та вітровий тиск. Температура і густина повітря всередині та назовні будинку неоднакова, в результаті чого гравітаційний тиск на сторонах захисної конструкції буде різним. За рахунок дії вітру створюється підпір, а на поверхні захисної конструкції виникає надмірний статичний тиск. На завітряному боці утворюється розрідження і статичний тиск буде меншим. Таким чином, при вітрі тиск із зовнішньої сторони будинку відіривається від тиску всередині приміщення.

Для приміщень, які опалюються в холодну пору року характерно проникнення зовнішнього повітря в приміщення через нещільності в захисній конструкції нижніх поверхів і внутрішнього повітря назовні через нещільності в захисній конструкції верхніх поверхів. Оскільки температура повітря в приміщенні і назовні різна, то буде різною і густина повітря ( $\rho_v \neq \rho_3$ )







Два приміщення, які мають два отвори на різних висотах

Рисунок 3.2 - Схема до визначення аеростатичного тиску, який впливає на будинок

На довільній висоті проведемо горизонтальну площину 0-0, яку будемо розглядати як умовний рівень відліку.

Зовнішній тиск на цьому рівні:  $\longrightarrow P_{30} = P_a = 0$

а внутрішній:  $\longrightarrow P_{B0} = P_X$

В стовпі газу статичний тиск змінюється за висотою на:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h \quad (3.6)$$

$$P_{31} = 0 + \rho_3 g h_1; \quad P_{B1} = P_X + \rho_B g \cdot h_1. \quad (3.7)$$

Тоді:

$$P_{32} = 0 - \rho_3 \cdot g \cdot h_2; \quad P_{B2} = P_X - \rho_B \cdot g \cdot h_2. \quad (3.8)$$

Надлишковий тиск на рівні площин, які розглядаються:

$$P_0 = 0 - P_X = - P_X;$$

$$P_1 = (0 - \rho_3 \cdot g \cdot h_1) - (P_X + \rho_B \cdot g \cdot h_1) = g \cdot h_1 \cdot (\rho_3 - \rho_B) - P_X;$$

$$P_2 = (0 - \rho_3 \cdot g \cdot h_2) - (P_X - \rho_B \cdot g \cdot h_2) = -g \cdot h_2 \cdot (\rho_3 - \rho_B) - P_X.$$

Зручно вважати внутрішній тиск на висоті приміщення постійним, а змінну величину ( $\rho_B \cdot g \cdot h$ ) враховувати при визначенні зовнішнього тиску. При цьому будь-яке приміщення можна розглядати як точку злиття та розподілу потоків.

Якщо прийняти  $P_x = \text{const}$ , то зовнішній гравітаційний тиск можна виразити умовною величиною  $P_z (P_n)$

для рівня 0-0  $P_0 = 0$ ;

1-1  $P_1 = g \cdot h_1 \cdot (\rho_3 - \rho_B)$

2-2  $P_2 = -g \cdot h_2 \cdot (\rho_3 - \rho_B)$

.....

n-n  $P_n = \pm g \cdot h_n \cdot (\rho_3 - \rho_B) \cdot$

Під дією вітру на поверхні будинку виникає надлишковий тиск, а на поверхнях завітряних - розрідження.

Схема обтікання будинку потоком повітря наведена на рис. 3.3

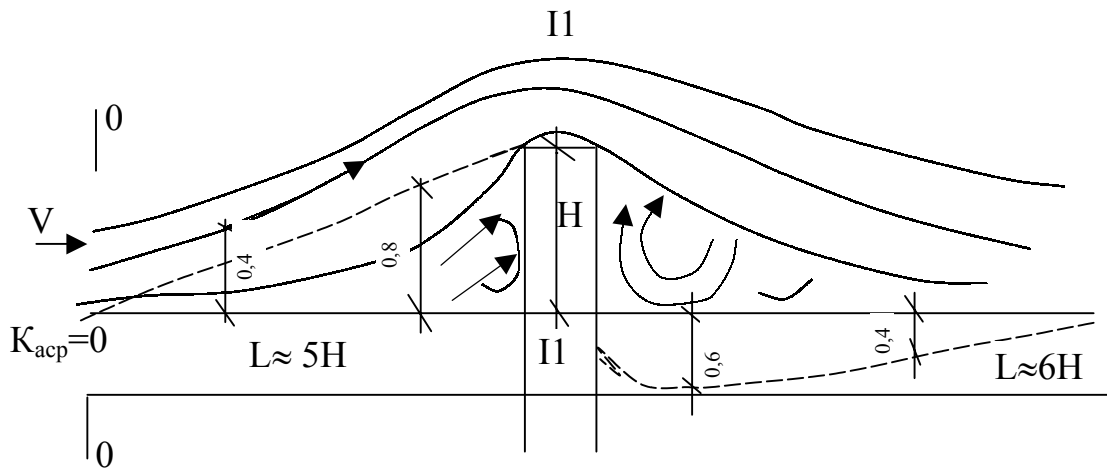


Рисунок 3.3 – Схема обтікання будинку потоком повітря

Епюри тиску під дією на будинок потоку повітря мають вигляд (рис. 3.4):

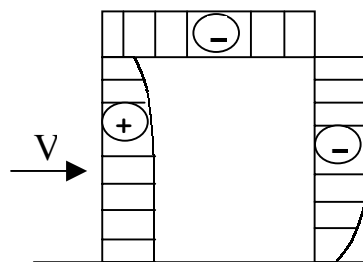


Рисунок 3.4 – Епюри тиску

Надлишковий статичний тиск  $P_{ст}$ , Па, в тій чи іншій точці на поверхні будинку пропорційний динамічному тиску потоку перед ним

$$P_{ст} = 0,5 K_{аер} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot$$

Коефіцієнт пропорційності  $K_{аер}$  називають аеродинамічним коефіціє-

ентом. Значення аеродинамічного коефіцієнта показує, яка доля кінетичної енергії потоку переходить в потенціальну.

Аеродинамічний коефіцієнт визначають продувкою в аеродинамічній трубці моделей будинків. Значення аеродинамічного коефіцієнта залишається незмінним при зміні швидкості вітру та масштабу моделі.

Запишемо рівняння Бернуллі:

$$P_0 + 0,5 \cdot \rho \cdot V_0^2 = P_1 + 0,5 \cdot \rho \cdot V_1^2 ,$$

де  $P_0, P_1$  - статичний тиск в перерізах **0-0** та **1-1**, Па;

$V_0, V_1$  - швидкості потоку в тих самих перерізах, м/с.

Якщо статичний тиск в перерізі **0-0**, який розташований на великій відстані від будинку, прийняти за нуль, то надлишковий статичний тиск в перерізі **1-1** становить:

$$P_{ст} = P_1 - P_0 = \frac{\rho V_0^2}{2} \left( 1 - \frac{V_1^2}{V_0^2} \right).$$

Аеродинамічний коефіцієнт в перерізі **1-1**:  $\left( 1 - \frac{V_1^2}{V_0^2} \right) = K_{аер}$

Якщо  $V_1 < V_0$ , то  $K_{аер} > 0$

$V_1 > V_0$ , то  $K_{аер} < 0$  ;

$V_1 = 0$ , то  $K_{аер} = 0$  .

Для найбільш розповсюджених форм будинків (паралелепіпед) аеродинамічні коефіцієнти знаходяться в таких межах:

- на фасаді зі сторони вітру  $K_{аер} = 0,4 \dots 0,8$ ;

- на фасаді з іншого боку  $K_{аер} = -0,3 \dots -0,6$ .

При одноразовій дії на будинок вітру та гравітаційних сил зовнішній тиск в якій-небудь точці на поверхні будинку:

$$P_n = 0,5 (K_{аер} \cdot \rho V^2) + g \cdot h \cdot (\rho_z - \rho_v) .$$

При оцінюванні повітропроникності будівельних конструкцій будинків враховують тільки різницю тисків, яка діє на захисні конструкції.

Для будинків з природною вентиляцією різниця тисків повітря у зовнішній та внутрішній поверхні навітряних захисних конструкцій  $\Delta p$ , для нижніх поверхів

$$\Delta p_n = 5,5 H (\rho_z - \rho_v) + 0,3(\beta \cdot V)^2 \rho_z ,$$

де  $H$  - висота будинку, м;

$\rho_z, \rho_v$  - густина зовнішнього і внутрішнього повітря

$$\rho = 353 / (273 + t) , \text{ кг/м}^3$$

$\beta$  - виправний коефіцієнт, який враховує незбіжність за часом прийнятий в розрахунках швидкості вітру та температури зовнішнього повітря;

$V$  - швидкість вітру за СНиП, але не менше 5м/с.

### **3.3 Врахування повітряного режиму будинку при виборі основних схем опалення та вентиляції**

При виборі основних схем системи опалення, вентиляції та кондиціювання повітряного режиму будинків необхідно враховувати особливості повітряного режиму будинків.

Взимку інфільтрація переохолоджує нижні поверхи, тому багатопверхові будинки доцільно використовувати системи опалення з подачею теплоносія знизу догори. Сходові клітки та ліфтові шахти повинні опалюватись в основному знизу. Необхідно інтенсивно обігрівати вестибюль з влаштуванням теплих тамбурів та підлог.

Інфільтрація в приміщення з зовнішніми захисними конструкціями одної орієнтації змінюється з напрямком вітру. В зв'язку з цим, а також під дією сонячної радіації необхідно передбачати пофасадний розподіл систем опалення. Зонування опалення по висоті по фасадах будинків дозволяє регулювати теплопередачу приладів в залежності від швидкості і напрямків вітру, температури зовнішнього повітря, інтенсивності сонячної радіації. Для локалізації інфільтрації через вікна і холодних конвективних токів, які переміщуються зверху донизу доцільно розташовувати нагрівальні прилади внизу приміщення, під вікнами і вздовж зовнішніх захисних конструкцій.

При організації природної (звичайної) вентиляції приміщень слід враховувати, що режим вентиляції в цьому випадку в значній мірі визначається повітряним режимом будинку. Повітря нижніх поверхів перетікає в приміщення верхніх поверхів. Тому поряд із загальним повітрообміном необхідно розраховувати кількість забрудненого повітря.

Існує два підходи до вибору принципів схем вентиляції, які враховують напрямки інфільтрації. Можна використовувати при вентиляції звичайні процеси інфільтрації, в нижніх поверхах і ексфільтрації в верхніх або протидіяти їм штучною вентиляцією. В першому випадку в нижній зоні будинку повинна бути вентиляційна витяжка, а в верхній – припливна вентиляція. В другому випадку вентиляцію використовують для зрівняння фільтраційного режиму будинку по висоті. В нижній зоні створюють підпір припливною вентиляцією, а в верхній забезпечують інтенсивну вентиляційну витяжку. В обох випадках необхідно турбуватися про попередження перетікання повітря із “забруднених” приміщень в чисті.

Аналіз режиму вентиляції в зв'язку з повітряним режимом будинку необхідно виконувати не тільки для зимового періоду, а також для перехідного і літнього періоду.

Необхідний для даного будинку повітряно-тепловий режим повинен забезпечувати поряд із доцільною організацією опалення і вентиляції визначеними конструктивними заходами і об'ємно-планувальними рішеннями.

Повинна створюватись достатня герметизація не тільки зовнішніх захисних конструкцій, але і внутрішніх захисних конструкцій, а також отворів у них. Необхідно влаштувати шлюзи, які ізолюють будинок від зовнішнього повітря і розподіляють його по висоті, незадимлених сходових кліток, які ізолювані від основного будинку і стикаються по всій висоті із зовнішнім повітрям. Необхідно влаштувати додаткові протипожежні засоби і спеціальні вимоги не задимлення шляхів евакуації в будинках.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Характеристика повітропроникності конструкції.
2. Фільтрація зовнішнього повітря.
3. Кількість повітря, яке фільтрується через вікна.
4. Коефіцієнт повітропроникності вікон.
5. Визначення аеростатичного тиску, який впливає на будинок.
6. Обтікання будинку потоком повітря.
7. Врахування повітряного режиму будинку при виборі основних систем опалення і вентиляції.

## 4 ВОЛОГІСНИЙ РЕЖИМ БУДИНКІВ

### 4.1 Вплив вологісного режиму на теплозахисні властивості конструкції

Збільшення вологості матеріалу і захисної конструкції супроводжується зменшенням теплозахисних властивостей самої конструкції й передчасним її руйнуванням.

До можливих джерел вологи в зовнішніх захисних конструкціях відносяться:

- *будівельна волога*, яка внесена в захисну конструкцію під час будівництва або під час використання зволжених матеріалів;
- *атмосферна волога*, яка потрапляє в захисні конструкції при атмосферних опадах (у вигляді дощу або мокрого снігу);
- *грунтова волога*, яка всмоктується капілярами будівельного матеріалу при відсутності гідроізоляції;
- *волога у вигляді конденсату*, яка утворюється на внутрішній поверхні захисних конструкцій в приміщеннях із підвищеною вологістю;
- *експлуатаційна волога*, виділення якої пов'язано з експлуатацією будинку;
- *волога у вигляді водяної пари*, яка дифузує через захисні конструкції приміщень, які опалюються, і може конденсуватись в товщі захисної конструкції при неправильно обраній конструкції.

При розрахунках вологопередачі через захисні конструкції потрібно знати вологісний стан повітря в приміщенні, який визначається виділенням вологи та повітрообміном. Джерелами вологи, в житлових приміщеннях є побутові процеси, які в них протікають, а в промислових - технологічні.

Для того, щоб повністю забезпечити необхідні теплозахисні властивості захисних конструкцій, необхідно при проектуванні встановити можливі зміни вологості захисних конструкцій, щоб за допомогою конструктивних заходів запобігти порушенню нормального вологісного режиму в період експлуатації.

При тривалому збереженні матеріалів в приміщенні з постійною температурою і відносною вологістю повітря кількість вологи в матеріалі залишається постійною (врівноваженою).

Зміни врівноваженого стану вологи в матеріалі, в повітряному середовищі, яке характеризується постійною температурою або при відносній вологості, яка постійно збільшується, виражаються **ізотермою** сорбції. Характер кривої ізотерми сорбції залежить від природи і структури будівельного матеріалу. (Найбільшу сорбційну вологу  $\omega = 30...35\%$  мають пористо-капілярні матеріали - фіброліт, деревина, деревноволокнисті матеріали).

Зволоження сухого матеріалу, який знаходиться в повітряному середовищі при його постійній відносній вологості називають **сорбцією**.

Зменшення вмісту вологи в матеріалі, який знаходиться в повітряному середовищі називають **десорбцією**.

В легких бетонах (шлакобетон, керамзитобетон та ін.) максимальне сорбційне насичення вологою залежить від властивостей заповнювача та в'язучих (сорбційний вміст води для них 5...6%, а для ніздрюватих бетонів - пінобетон та інші - 10...15%)

Вміст води в матеріалі характеризується масовою вологістю:

$$\omega = (P_B - P_C) / P_C \cdot 100\% , \quad (4.1)$$

де  $P_C$  - маса сухого зразка матеріалу;

$P_B$  - маса вологого зразка до його висушування.

В раціонально запроектованих захисних конструкціях спостерігається; так званий встановлений вміст води, який наближений до повітряно-сухого стану матеріалів і який в незначній мірі змінюється в різні сезони року.

Зміни вологісного стану захисної конструкції в будинках здійснюються внаслідок зміщення рівноваги між випаруванням води і сорбційним та конденсаційним зволоженням матеріалів. Ці процеси пов'язані з волого-температурним станом навколишнього середовища, яке має найбільший вплив на конструкцію в холодну пору року.

## 4.2 Основні розрахункові параметри вологісного режиму

Повітря завжди містить деяку кількість води у вигляді водяної пари. Кількість води в грамах, яка міститься в  $1 \text{ м}^3$  повітря називається абсолютною вологістю  $f$  ( $\text{г}/\text{м}^3$ ).

При розрахунках вологісного режиму захисної конструкції зручніше користуватись величиною парціального тиску пари, яка називається пружністю водяної пари  $e$ , Па.

При даній температурі і барометричному тиску пружність водяної пари при надходженні із зовні може збільшуватись до певної межі. Це - максимальна пружність водяної пари  $E$ , Па (Додаток К).

Чим вище температура повітря, тим більшою буде  $E$ .

Щоб виразити ступінь насичення повітря вологою, визначають його відносну вологість  $\phi$ , яка виражається в відсотках і є відношенням між дійсною пружністю водяної пари та максимальною її пружністю:

$$\phi = e / E \cdot 100\% . \quad (4.2)$$

З гігієнічної точки зору нормальною відотною вологістю вважається вологість у межах 30...60%.

Внаслідок різниці парціального тиску в повітряному середовищі, яке розділено захисною конструкцією, виникає дифузія водяної пари із середовища з більшим парціальним тиском в середовище з меншим.

Взимку в захисних конструкціях здійснюються, з одного боку, фільтрація повітря із зовнішнього середовища у внутрішнє, а з іншого - дифузія водяної пари в протилежному напрямку - із приміщення назовні (із середо-

вища більш теплого, яке має більшу вологомісткість в середовище більш холодне).

Дифузію водяної пари через шар матеріалу іноді називають паропроникненням матеріалу, яке характеризується коефіцієнтом паропроникності. Коефіцієнт паропроникності  $\mu$  вказує кількість пари (г), яка дифузує за 1 годину через  $1 \text{ м}^2$  плоского шару, який має товщину 1 м при різниці парціального тиску водяної пари на поверхнях шару, яка дорівнює  $1 \text{ Н/м}^2$  або  $1 \text{ Па}$ ,  $[\text{г}/(\text{м год Па})]$  (Додаток Г).

При встановленому потоці водяної пари, яка дифузує через захисну конструкції опір паропроникності будь-якого шару:

$$N_{\text{П}} = \delta/\mu, \quad \text{м}^2 \text{ год Па/г} \quad (4.3)$$

де  $\delta$  - товщина шару захисної конструкції, м.

Загальний опір паропроникності багатошарової захисної конструкції:

$$N_{\text{П}} = \delta_1/\mu_1 + \delta_2/\mu_2 + \delta_3/\mu_3 + \dots + \delta_n/\mu_n, \quad (4.4)$$

де  $n$  - кількість шарів.

### 4.3 Визначення вологісного стану конструкції графоаналітичним методом

В повітрі, яке заповнює пори матеріалу, встановлюється визначений розподіл пружності водяної пари  $e$  по товщі захисної конструкції. Якщо в окремих шарах або перерізах захисної конструкції ця пружність  $e$  буде вищою, ніж пружність щільного насичення повітря  $E$  при відповідних температурах  $t$ , то утворюється конденсат.

Таким чином, розрахунок складається з побудови кривих розподілу  $t_x$ ,  $e_x$  та  $E_x$  по перерізу захисної конструкції і в визначенні шарів або перерізів, де  $e_x$  буде вищим за  $E_x$ .

Крива розподілу температури по товщі захисної конструкції може бути побудована за формулою

$$t_x = t_B - R_{B-X} / R_0 \cdot (t_B - t_3) . \quad (4.5)$$

Розподіл пружності водяної пари по товщі захисної конструкції будується аналогічно за формулою:

$$e_x = e_B - N_{B-X} / N_0 \cdot (e_B - e_3) , \quad (4.6)$$

де  $e_B$  та  $e_x$  - пружність водяної пари у внутрішньому і зовнішньому повітрі;

$N_{B-X}$  - опір паропроникності від зовнішнього середовища приміщення до перерізу  $X$  в товщі захисної конструкції;

$N_0$  - опір паропроникності всієї товщі захисної конструкції.

Опір паропроникності  $N_{B-X}$  та  $N_0$  складається із опорів паропроникності окремих шарів  $N_n$ .



Опорами вологообміну між повітрям і поверхнями захисних конструкцій в даних розрахунках можна знехтувати.

Криву розподілу  $E_x$  по перерізу в залежності від  $t$  будують за формулою:

$$E_x = 477 + 133,3 (1 + 0,14 t_x)^2. \quad (4.7)$$

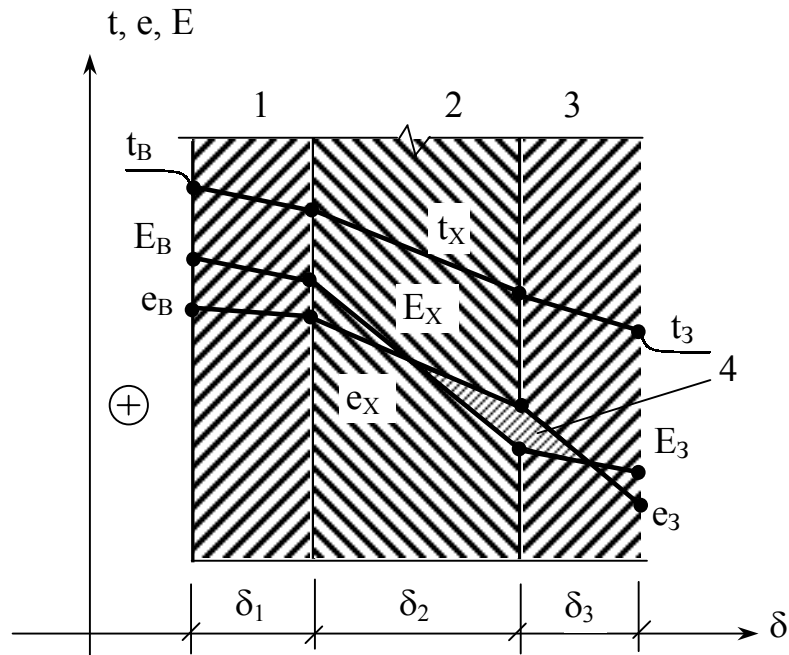


Рисунок 4.1 - Приклад побудови кривих розподілу температури  $t_x$ , пружності водяної пари  $e^x$  і максимальної пружності водяної пари  $E^x$  в порах матеріалу захисної конструкції для визначення можливості утворення конденсату в товщі конструкції, яка складається з таких шарів: 1 - штукатурка; 2 - піноскло; 3 - бетон; 4 - ділянка можливої конденсації

В розрахунках вологісного режиму захисної конструкції температуру зовнішнього повітря приймаємо рівною середній температурі найхолоднішого місяця (табл.4.1).

В товщі конструкції допустима лише короточасна конденсація. Одною з основних вимог є недопустимість регулярного накопичення вологи в матеріалі. Накопичена за зиму волога повинна бути висушена влітку. Якщо ця вимога не задовольняється, то необхідно збільшити опір паропроникності внутрішніх шарів захисної конструкції. Для нормального вологісного режиму конструкцій необхідно щільні шари розташовувати з внутрішньої поверхні захисної конструкції та захищати її від зволоження атмосферними опадами.

Таблиця 4.1 – Межі допустимих приростів розрахункового масового відношення вологи у матеріалах

Матеріал	Межа допустимого приросту $\Delta W_{сер}, \%$
1 Кладка з глиняної цегли чи керамічних блоків	1,5
2 Кладка з силікатної цегли	2,0
3 Легкі бетони на пористих заповнювачах (керамзитобетон, перлітобетон, пемзобетон, ін.)	5,0
4 Ніздрюваті бетони (газобетон, пінобетон, газосилікат і т.ін.)	6,0
5 Піногазоскло	1,5
6 Фіброліт цементний	7,5
7 Мінераловатні плити та мати	3,0
8 Пінополістирол	25,0
9 Теплоізоляційні засипки з керамзиту, шунгизиту, шлаку	3,0
10 Важкі бетони	2,0

#### 4.4 Особливості розрахунків при конденсації водяної пари на поверхні захисної конструкції

В приміщеннях бань, пралень, а також в деяких “мокрих” виробничих приміщеннях будинків водопровідно-каналізаційного господарства допускається конденсація водяної пари на внутрішніх поверхнях стін в розрахункових зимових умовах.

В результаті конденсації водяної пари на внутрішній поверхні захисної конструкції виділяється кількість тепла  $q_k$ , яке змінює звичайну для захисної конструкції картину розподілу температур.

Величину  $q_k$  ( $Вт/м^2$ ) визначають

$$q_k = 0,28 \beta r (e_B - E_n), \quad Вт/м^2 \quad (4.8)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт вологообміну на поверхні,  $кг/(м^2 год Па)$ :

$$\beta = 0,86 \cdot 10^{-6} \Delta t^{1/3} \Delta e^{2/3}, \quad (4.9)$$

$r$  - теплота конденсації водяної пари з повітря при температурі  $t_B$  на поверхню, яка має температуру  $\tau_n$ ,  $кДж/кг$ :

$$r = 2500 + 1,8 t_B - 4,19 \tau_n, \quad (4.10)$$

(в розрахунках можна прийняти  $r = 2450$   $кДж/кг$ );

0,28 - чисельний множник переведу  $кДж/год$  в  $Вт$ , який входить в одиницю  $q_k$ ;

$e_B$  - пружність водяної пари в приміщенні, Па;  
 $E_{II}$  - пружність насиченої водяної пари, яка відповідає температурі внутрішньої поверхні захисної конструкції, Па.  
 Наближено

$$E_{II} = 477 + 133,3 ( 1 + 0,14 \tau_n )^2 . \quad (4.11)$$

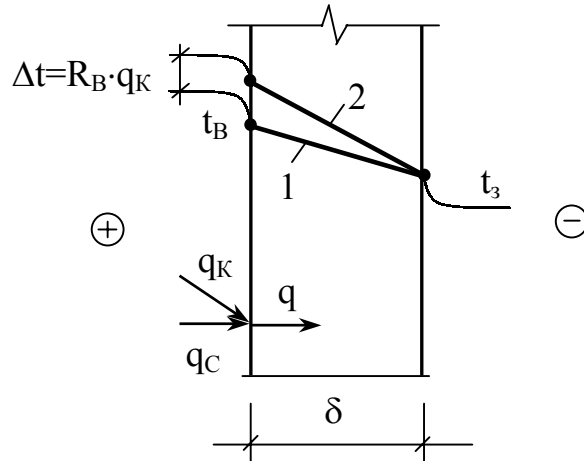


Рисунок 4. 2 - Розподіл температури по перерізу захисної конструкції при відсутності - 1 та при наявності - 2 конденсації водяної пари на його внутрішній поверхні

Додатковий тепловий потік  $q_K$  на поверхні може бути врахований при теплотехнічному розрахунку захисної конструкції умовним збільшенням температури на величину:

$$\Delta t_K = R_B q_K . \quad (4.12)$$

В цьому випадку тепловий потік через захисну конструкцію:

$$q = 1/ R_O ( t_B + R_B q_K - t_3 ) . \quad (4.13)$$

Загальний тепловий потік складається з потоку сухого тепла яке передається внаслідок конвекції та випромінюванням  $q_C$  та потоку прихованого тепла конденсації  $q_K$  :

$$q = q_C + q_K . \quad (4.14)$$

Опір теплопередачі захисної конструкції мокрих приміщень при відомому значенні температури внутрішньої поверхні

$$R_{OK} = R_B - \frac{(t_B + R_B q_K - t_3)}{(t_B + R_B q_K - \tau_n)} . \quad (4.15)$$

Величина  $q_K$  повинна бути розрахована з врахуванням перепаду температур  $t_B - \tau_n$ .

Потрібно пам'ятати, що з усього потоку тепла  $q$ , яке витрачає захисна конструкція, тільки частина  $q_c$  складає втрати тепла приміщення. Величина  $q_k$  - приховане тепло конденсації, витрати якого в деяких випадках не повинні компенсуватись системою обігріву приміщення. Це можливо, наприклад, у випадку, коли температура води, яка випаровується в приміщенні, рівна або вища за температуру повітря в приміщенні.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Навести можливі джерела вологи в захисних конструкціях.
2. Як визначити вміст вологи в матеріалі?
3. Що таке максимальна пружність водяної пари?
4. Як визначити відносну вологість повітря?
5. Що таке коефіцієнт паропроникності?
6. Що таке загальний опір паропроникності?
7. Як побудувати криву розподілу температури по товщі захисної конструкції?
8. Як здійснюється розподіл пружності водяної пари по товщі захисної конструкції?
9. Як на графіку можна відмітити ділянку можливої конденсації?
10. Як здійснюється розрахунок при конденсації водяної пари на поверхні захисної конструкції?
11. Як додатковий тепловий потік на поверхні може збільшувати температуру?
12. Навести загальний тепловий потік, який впливає на зовнішню конструкцію при конденсації пари.
13. Як визначити опір теплопередачі мокрих приміщень?

## 5 ОСОБЛИВОСТІ ЗИМОВОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ ПРИМІЩЕННЯ

### 5.1 Забезпечення розрахункових умов для зимового теплового режиму

Теплові умови повинні відповідати функціональному призначенню приміщення та вимогам, які до нього пред'являються (санітарно-гігієнічні). Для більшості житлових та громадських будинків ці умови вибираються приблизно на однаковому рівні. В промислових будівлях можна виділити декілька груп приміщень приблизно з однаковими умовами.

Показники відхилення реальних умов в приміщенні від розрахункових:

1 - показник числа випадків відхилень умов від розрахункових в загальному ряді днів, сезонів, років, які прийняті для розгляду;

2 - показник загальної тривалості відхилень від умов, що задані за період, який прийнято для розрахунку;

3 - показник, який характеризує найбільш несприятливі разові відхилення.

Забезпечення для будинків внутрішніх умов визначається вибором розрахункових параметрів зовнішнього клімату.

При виборі розрахункових зовнішніх параметрів в якості прогнозу на майбутні роки приймають дані спостережень за кліматом попереднього періоду.

Точність вибору розрахункових значень залежить від числа зим, які прийнято для розгляду.

Найбільш холодний період кожної зими називають "випадком". Для вибору параметрів, які відповідають визначеній ймовірності їх виникнення, приймають до розгляду весь ряд випадків попередніх років.

Забезпеченість умов визначають коефіцієнтом забезпеченості  $K_{зб}$ , величина якого показує частку загального числа випадків, яка не допускає відхилень від розрахункових умов.

Порівняння розрахункових умов з параметрами клімату максимальної забезпеченості дозволяє з'ясувати величину і тривалість найбільш різних відхилень можливих умов від розрахункових.

Вплив зовнішнього клімату на тепловий режим захисних конструкцій і приміщень носить комплексний характер, який визначається сумісною дією метеорологічних параметрів (температура зовнішнього повітря  $t_3$  та швидкість вітру  $V_3$ ). В деяких випадках в розрахунки додатково включають відносну вологість  $\phi$ , сонячну радіацію, опади, напрямок вітру та інші.

Випадки, для яких зміни одного  $t_3$  пов'язані із змінами другого  $V_3$  показника, називають ЗАЛЕЖНИМИ.

Випадки, зміни одного з яких практично не пов'язані із змінами другого, називають НЕЗАЛЕЖНИМИ.

Для зимового теплового режиму визначають розрахункове сполучення залежних випадків  $t_3$  та  $V_3$  з врахуванням необхідного коефіцієнта забезпеченості  $K_{ЗБ}$ .

$$K_{ЗБ}(t_3, V_3) = K_{ЗБ}(t_3) \cdot K_{ЗБ}(V_3 / t_3), \quad (5.1)$$

де  $K_{ЗБ}(t_3)$  - забезпеченість виникненню заданої температури зовнішнього повітря;

$K_{ЗБ}(V_3 / t_3)$  - забезпеченість виникненню швидкості вітру при заданій температурі.

Якщо прийняти  $K_{ЗБ}(V_3 / t_3) = 1$ , то

$$K_{ЗБ}(t_3, V_3) = K_{ЗБ}(t_3). \quad (5.2)$$

При обробленні кліматичних даних для будинків і приміщень з різними експлуатаційними режимами в розрахунках зимових умов приймають значення  $K_{ЗБ}$  з таблиці 5.1:

Таблиця 5.1 – Коефіцієнт забезпеченості

Характеристики основних приміщень	Рівень вимог	Коефіцієнт забезпеченості $K_{ЗБ}$
Особливо високі вимоги до санітарно-гігієнічних умов	Підвищений /П/	1,0
Цілодобове перебування людей або постійний технологічний режим	Високий /В/	0,9
Обмежене за часом перебування людей	Середній /С/	0,7
Короткочасне перебування людей	Низький /Н/	0,5

## 5.2 Характеристики зовнішнього клімату, які приймають до розрахунків

Розрахункові параметри клімату повинні бути загальними для розрахунку всіх складових теплового режиму приміщення, так як вони відображають процес теплопередачі через захисну конструкцію.

Дані про розрахункові кліматичні умови повинні враховувати необхідність аналізу нестационарного процесу теплопередачі, оскільки в розрахункові найбільш холодні періоди зими здійснюється швидка зміна зовнішньої температури, в той же час як захисні конструкції мають теплоінерційність. Періоди найбільш різкого за зиму охолодження в ряду багаторічних спостережень розглядаються як випадки, які приймаються для аналізу.

Для отримання узагальненої температурної кривої розрахункового періоду обробляють дані спостережень методами математичної статисти-

ки. Для цього беруть результати зимових спостережень за можливо більші числа попередніх років. Добу цього періоду позначають умовно номером. День з мінімальною температурою вважають за нуль, попередні до нього позначають номерами -1, -2, -3,..., наступні - відповідно +1,+2,+3,... Для кожного номера беруть значення середньодобових температур, які розташовують в ряд, що зменшується за величиною. Перша цифра в кожному ряді для окремих умовних днів відповідає найменшій температурі, яка спостерігається за всі роки.



Рисунок 5.1 - **Розрахункові зимові зовнішні температури.**  
Криві змін середньодобових температур в період різкого охолодження при коефіцієнтах забезпеченості 0,98 - 1; 0,9 - 2; 0,7 - 3; 0,5 - 4

### 5.3 Захисні властивості зовнішніх захисних конструкцій

Захисна конструкція будинку повинна мати необхідні теплозахисні властивості й бути достатньо вологонепроникною.

Теплозахисні властивості зовнішніх захисних конструкцій визначаються такими показниками: величиною опору теплопередачі  $R_0$ ; теплостійкістю, яку оцінюють за величиною характеристики теплової інерції  $D$ .

Величина  $R_0$  характеризує опір захисної конструкції передачі тепла в стаціонарних умовах, а теплостійкість характеризує опір захисної конструкції передачі тепла, яке змінюється за часом.

Необхідною є умова:

$$R_0 \geq R_0^H . \quad (5.3)$$

Цієї умови недостатньо, тому що при визначенні  $R_0$ , повинні враховуватись також ТЕП, тому повинно виконуватись:

$$R_{0\text{опт}} > R_0^H . \quad (5.4)$$

Розрахунковий опір визначається з умови:

$$R_0 \approx R_{0\text{опт}} . \quad (5.5)$$

Після визначення  $R_0$  захисної конструкції необхідно перевірити теплозахисні властивості елементів конструкції (стики, кути, включення). Необхідною і достатньою умовою цього розрахунку є відсутність утворення конденсату на внутрішній поверхні конструкції.

#### 5.4 Визначення найбільших втрат тепла приміщенням

Найбільші втрати тепла приміщенням визначають установну потужність системи опалення. В загальному вигляді необхідність в додатковому теплі від системи опалення  $Q_{\text{оп}}$  виникає при позитивному значенні величини теплового балансу, Вт:

$$Q_{\text{оп}} = Q_{\text{зах}} + Q_i - Q_{\text{тех}} - Q_{\text{ср}} , \quad (5.6)$$

де  $Q_{\text{зах}}$  - тепловтрати приміщенням за рахунок теплопередачі через зовнішні захисні конструкції;

$Q_i$  - втрати тепла на нагрівання зовнішнього повітря, яке інфільтрується через конструкцію;

$Q_{\text{тех}}$  - внутрішні (технологічні або побутові) тепловиділення;

$Q_{\text{ср}}$  - тепло від сонячної радіації.

Втрати тепла через окремі захисні конструкції, Вт:

$$Q_{zi} = 1/R_{\text{пр.о}} (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) n F \eta , \quad (5.7)$$

де  $R_{\text{пр.о}}$  - приведений опір теплопередачі захисної конструкції;

$n$  - коефіцієнт, який зменшує розрахункову різницю температур  $(t_{\text{в}} - t_{\text{з}})$ ;

$F$  - площа захисної конструкції,  $\text{м}^2$ ;

$\eta$  - коефіцієнт, який враховує додаткові тепловтрати через захисну конструкцію.

Найбільші втрати тепла приміщенням, Вт:

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{вік}} + \sum Q_{zi} , \quad (5.8)$$

де  $Q_{\text{вік}}$  - найбільші тепловтрати через вікна;

$\sum Q_{zi}$  - сума тепловтрат через інші захисні конструкції приміщення в момент, коли найбільші тепловтрати через вікна.

Величина  $Q_{zi}$  для теплостійкої захисної конструкції, Вт:

$$Q_{zi} = Q_{z0} + \Delta Q_z , \quad (5.9)$$



де  $Q_{30}$  - тепловтрати на початку періоду різкого охолодження;

$\Delta Q_3$  - додаткові тепловтрати, які відповідають зовнішній температурі в момент найбільших тепловтрат через вікна.

Найбільша кількість тепла на нагрівання повітря, яке інфільтрується в приміщенні:

$$Q_i = L_i \cdot C \cdot \rho_3 \cdot (t_B - t_3) \cdot A, \quad (5.10)$$

де  $L_i$  - годинний об'єм повітря, яке інфільтрується,  $m^3$ ;

$C$  - масова теплоємність повітря,  $Dж/(кг \cdot K)$ ;

$\rho_3$  - щільність зовнішнього повітря,  $кг/m^3$ ;

$A$  - коефіцієнт, що враховує вплив теплового потоку, який йде на зустріч,  $^{\circ}C$ .

Внутрішні теплові надходження складаються з надходжень тепла від джерел електропостачання, приладів для готування їжі, системи гарячого водопостачання, людей. Існуючими нормами теплові надходження оцінюються величиною 20,9 Вт (18 ккал/год) на  $1 m^2$  площі приміщення.

Розрахунок величини надходжень тепла від сонячної радіації будемо розглядати далі.

## 5.5 Теплопередача опалювального приладу

Через стінки опалювального приладу тепло, яке акумульовано теплоносієм в тепловому пункті системи опалення, передається приміщенню, яке нагрівається.

Схема теплопередачі опалювального приладу наведена на рис. 5.2:

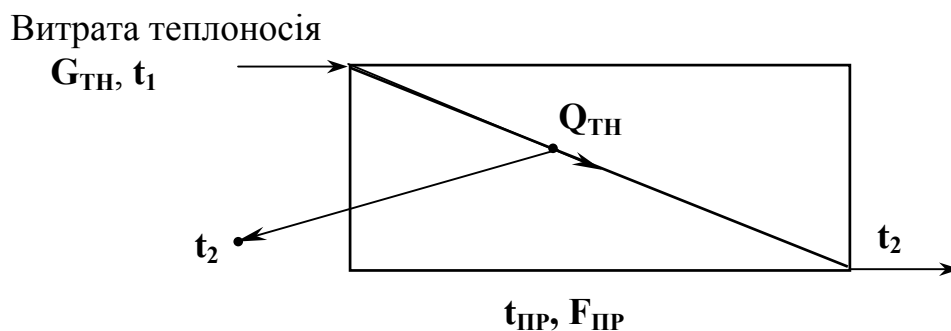


Рисунок 5.2 – Схема теплопередачі опалювального приладу

Звичайно вважається, що опалювальний прилад і теплоносії мають приблизно малу теплову інерцію, тому кількість тепла  $Q_{ТН}$ , яку віддає теплоносієм в кожний момент часу, дорівнює кількості тепла, яке передається приміщенню  $Q_{ПР}$ :

$$Q_{ТН} = Q_{ПР} .$$

Теплопередачу нагрівального приладу визначають з допомогою рівняння:

$$Q_{\text{ПР}} = 1/R_{\text{ПР}} (t_{\text{ПР}} - t_{\text{В}}) F_{\text{ПР}}. \quad (5.11)$$

В цьому рівнянні прийнято, що кількість тепла, яке віддається пропорційно різниці між середньою температурою теплоносія в приладі  $t_{\text{ПР}}$  і температурою приміщення, яке нагрівається  $t_{\text{В}}$ . Температура теплоносія в приладі залежить від конструкції приладу та способу його приєднання до системи, виду та параметрів теплоносія.

В розрахунках приймають середню температуру теплоносія, яка:

$$t_{\text{ПР}} = \frac{t_1 + t_2}{2}. \quad (5.12)$$

Опір теплопередачі опалювального приладу:

$$R_{\text{ПР}} = R_{\text{В}} + R_{\text{Т}} + R_{\text{З}}, \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}. \quad (5.13)$$

Опір теплосприймання  $R_{\text{В}}$  від теплоносія до внутрішньої поверхні стінки нагрівального приладу площею  $F_{\text{ВП}}$  повинно бути віднесено до  $F_{\text{ПР}}$ :

$$R_{\text{В}} = \frac{1}{\alpha_{\text{В}}} \cdot \frac{F_{\text{ПР}}}{F_{\text{ВП}}}. \quad (5.14)$$

Опір  $R_{\text{Т}}$  теплопровідності стінки приладу:

$$R_{\text{Т}} = \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{F_{\text{ПР}}}{F_{\text{ВП}}}. \quad (5.15)$$

В чавунному радіаторі товщина стінки  $\delta$  менша за 0,01 м,  $\lambda_{\text{ЧАВУНА}} \approx \approx 47 \text{ Вт}/(\text{м К})$  та опір  $R_{\text{Т}} \approx 0,01 \cdot 1,3/47 = 0,277 \cdot 10^{-3}$ .

Для радіаторів  $R_{\text{В}}$  та  $R_{\text{Т}}$  дуже малі.

Опір теплообміну  $R_{\text{З}}$  на зовнішній поверхні приладу:

$$R_{\text{З}} = \frac{1}{\alpha_{\text{З}}}. \quad (5.16)$$

де  $\alpha_{\text{З}}$  - коефіцієнт теплообміну на нагрітій поверхні приладу в приміщенні.

Кількість тепла  $Q$ , яке передає ребро товщиною  $2\delta$ , шириною  $a$  й висотою  $l$  від основи, температура якої  $\tau_0$ , зовнішньому середовищу з температурою  $t_{\text{В}}$ :

$$Q = 2 a \sqrt{\alpha_{\text{З}} \cdot \delta \cdot \lambda} \cdot \text{tg} \sqrt{\text{Bi}} \cdot (\tau_0 - t_{\text{В}}), \quad (5.17)$$

де  $\text{tg} \sqrt{\text{Bi}}$  - гіперболічний тангенс.

При  $\alpha_3 l^2 / (\lambda \cdot \delta) > 4$  опір теплообміну на ребрених поверхнях не залежить від  $l$  та величина його постійна.

Віднесена до 1 м довжини ребра величина опору теплообміну:

$$R'_3 = \frac{1}{2\sqrt{\alpha_3 \cdot \lambda \cdot \delta}}, \text{ м} \cdot \text{К} / \text{Вт}. \quad (5.18)$$

В сталевих приладах з ребрами товщиною  $\delta = 0,003$  м їх висоту  $l$  роблять не більше, ніж

$$l > \sqrt{\frac{4 \cdot \delta \cdot \lambda}{\alpha_n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,003 \cdot 58}{2 \cdot 9,3}} = 0,194 \text{ м}, \quad (5.19)$$

тому що теплопередача при цьому не буде збільшуватись.

Коефіцієнт  $\alpha_3$  для поверхні нагрівальних приладів може бути наближено визначений у вигляді суми коефіцієнтів конвективного  $\alpha_K$  й променевого теплообмінів  $\alpha_{\Pi}$ .

Для плоскої поверхні великої площі залежність  $\alpha_3$  від різниці температур поверхні й повітря наведена на рис. 5.3:

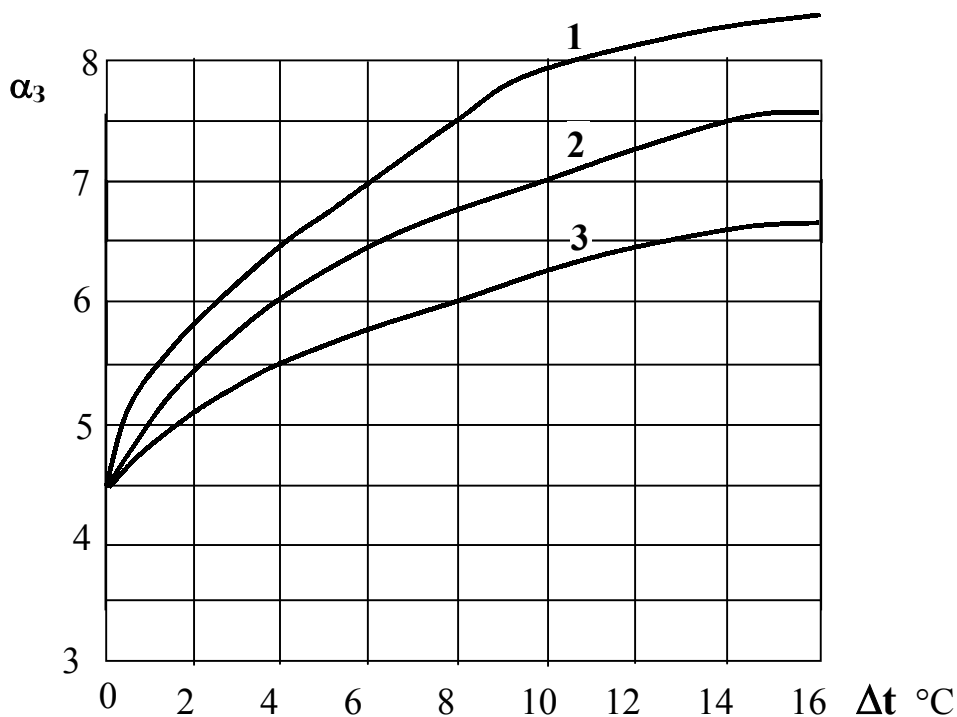


Рисунок 5.3 – Залежність  $\alpha_3$  від різниці температур:

- 1 – для горизонтальної поверхні при передачі тепла знизу догори;
- 2 – для вертикальної поверхні;
- 3 – для горизонтальної поверхні при передачі тепла згори донизу.

## 5.6 Охолодження приміщення при відключенні опалення

При припиненні або частковій зміні подачі тепла в приміщення спочатку різко знижується температура повітря. Через певний час температура повітря та всіх захисних конструкцій досягає рівня осередненої температури поверхні. Основні втрати тепла при охолодженні приміщення здійснюються через вікна.

При охолодженні приміщення спочатку здійснюються невідповідні зміни температур, які змінюються регульованим зниженням температури:

$$\frac{\partial}{\partial z} \ln (t_B - t_3) = m . \quad (5.20)$$

Ознакою регулярності нестационарного температурного поля є постійність швидкості змін логарифма надмірної температури за часом; де

$m$  – коефіцієнт, що характеризує темп охолодження.

Для тіл будь-якої форми справедливим є рівняння:

$$m = a / l_V^2 \cdot Kn , \quad (5.21)$$

де  $a$  - коефіцієнт теплопровідності;

$Kn$  - критерій Кондратьєва:

$$Kn = \psi Bi \quad \text{або} \quad \psi = f ( Bi ) \quad (5.22)$$

$l_V$  - узагальнений розмір тіла, який рівний відношенню об'єму  $V$  тіла до його поверхні  $F$ :

$$l_V = V / F ; \quad (5.23)$$

$\psi$  - характеристика нерівномірності розподілу температури в перерізі тіла, яка рівна відношенню надмірної температури на поверхні  $\Delta_{\text{пов}} = t_B - t_{\text{пов}}$  до надмірної середньої температури  $\Delta_{\text{сер}} = t_B - t_{\text{сер}}$

$$\psi = \Delta_{\text{пов}} / \Delta_{\text{сер}} = ( t_B - t_{\text{пов}} ) / ( t_B - t_{\text{сер}} ), \quad (5.24)$$

$Bi$  - критерій Біо.

Якщо розподіл температури в тілі рівномірний (внутрішня задача), то  $\psi \approx 1$  та  $Kn = Bi$ . При зовнішній задачі нерівномірність розподілу температури в тілі найбільша та  $\psi \rightarrow 0$ . Для тіл різної форми залежність  $\psi = f( Bi )$  визначається практично однією кривою (рис. 5.4).

Критерій гомохронності

$$F_0' = Z / CR_n . \quad (5.25)$$

Теплоємність тіла

$$C = c \rho V . \quad (5.26)$$

Опір теплообміну

$$R_n = 1 / \alpha F . \quad (5.27)$$

Різниця температур зовнішнього середовища за часом:

$$(t - t') / \Delta t_1 = e^{-F_0' \psi} ; \quad (5.28)$$

Перепад температур:

$$\Delta t = t_B - t(X, Z) , \quad (5.29)$$

$$\Delta t_0 = t(X, Z_P) = t(X, Z_P) + BZ - t(X, Z > Z_{KP}) , \quad (5.30)$$

$Z$  - момент часу;

$B$  – швидкість нагріву або темп охолодження, або нагрівання.

До початку критичного періоду  $Z_{KP}$  і далі  $gZ \rightarrow \infty$ ;

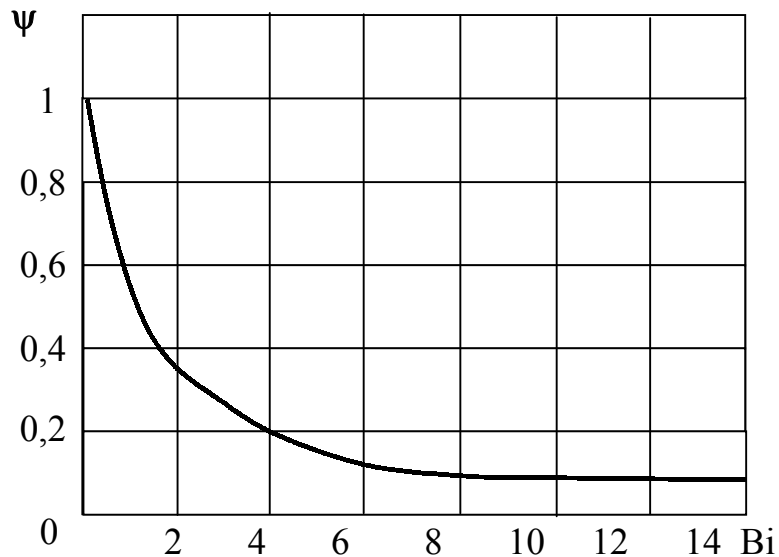


Рисунок 5.4 – Крива залежності  $\psi = f(Bi)$

За даними коефіцієнта темпу охолодження  $m$  та за формулами (5.28), (5.29), (5.30) можна розрахувати зниження температури приміщення після припинення або зменшення подачі тепла. В останньому випадку кінцева температура перехідного процесу відповідає новому стаціонарному режиму теплопередачі.

В міру вихолоджування, як показують дослідження, коефіцієнт  $m$  для приміщень зменшується, що пов'язано з променевим теплообміном.

## 5.7 Теплова характеристика будинку

Для теплотехнічного оцінювання конструктивно-планувальних рішень будинків користуються питомою тепловою характеристикою будинку:

$$g = Q / (V \cdot (t_B - t_3)) , \quad \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}) \quad (5.31)$$

де  $Q$  - розрахункові тепловтрати всіх приміщень будинку, Вт;

$V$  – об'єм будинку по зовнішньому обміру, м<sup>3</sup>;

$(t_B - t_3)$  - розрахункова різниця температур для основних приміщень, К.

Величина  $g$  визначає розрахункові тепловтрати 1 м<sup>3</sup> будинку, які віднесені до різниці температур в 1 градус.

Зовнішні захисні конструкції можна розбити на дві групи.

До I групи відносяться захисні конструкції, теплозахисні властивості яких розраховують з умов наближеної рівності розрахункового  $R_0$  та необхідного  $R_0^H$  опору теплопередачі (зовнішні стіни та перекриття над підвалом). Розрахункові тепловтрати для них:

$$Q_i = \sum \frac{1}{R_0} (t_B - t_3) \cdot F ; \quad (5.32)$$

$$R_0 \approx R_0^H = \frac{R_B (t_B - t_3) \cdot n}{\Delta t^H} \quad (5.33)$$

тому:

$$Q_I = \sum \frac{\Delta t^H \cdot F}{R_B \cdot n} . \quad (5.34)$$

До II групи відносяться захисні конструкції із заданими теплозахисними властивостями (в основному вікна). Розрахункові втрати тепла через них:

$$Q_{II} = K_{II} \cdot F_{II} \cdot (t_B - t_3) . \quad (5.35)$$

Тепловтрати будинку, які дорівнюють:

$$Q_B = Q_{ЗАХ} + Q_{ВІК} , \quad (5.36)$$

можна представити

$$Q_B = g_0 a V (t_B - t_3) , \quad (5.37)$$

де  $g_0$  - еталонна характеристика відповідної різниці температур, яка рівна різниці температур:  $\Delta t_0 = 18 - (-30) = 48^\circ\text{C}$ .

$a$  - коефіцієнт, який залежить від розрахункової різниці температур.

Наближено  $a$  :

$$a \approx 0,54 + 22 / (t_B - t_3) . \quad (5.38)$$

Величина  $g_0$  може бути визначена з врахуванням вимог БНіП

- для вікон, які мають спарені переплетення,  $K_{ВІК} = 2,9$ :

$$g_0 = \frac{(1,2 + 1,5d)F + 1,2S}{V} ; \quad (5.39)$$

- для вікон, які мають роздільні рами,  $K_{ВІК} = 2,7$ :

$$g_0 = \frac{(1,2 + 1,5d)F + 1,2S}{\beta V} \quad (5.40)$$

Залежність питомої теплової характеристики будинку від його розмірів (  $S$  - площа будинку;  $F$  - площа зовнішніх стін;  $d$  - доля їх застління) наведена на рис. 5.5. Для будинку шириною  $b = 11$  м, довжиною  $l = 30$  м, об'ємом  $V = 20 \cdot 10^3 \text{ м}^3$ ,  $d = 0,25$ ;  $R_0 = 0,86$  (1,0);  $K_{ВІК} = 3,5$  (3,0).

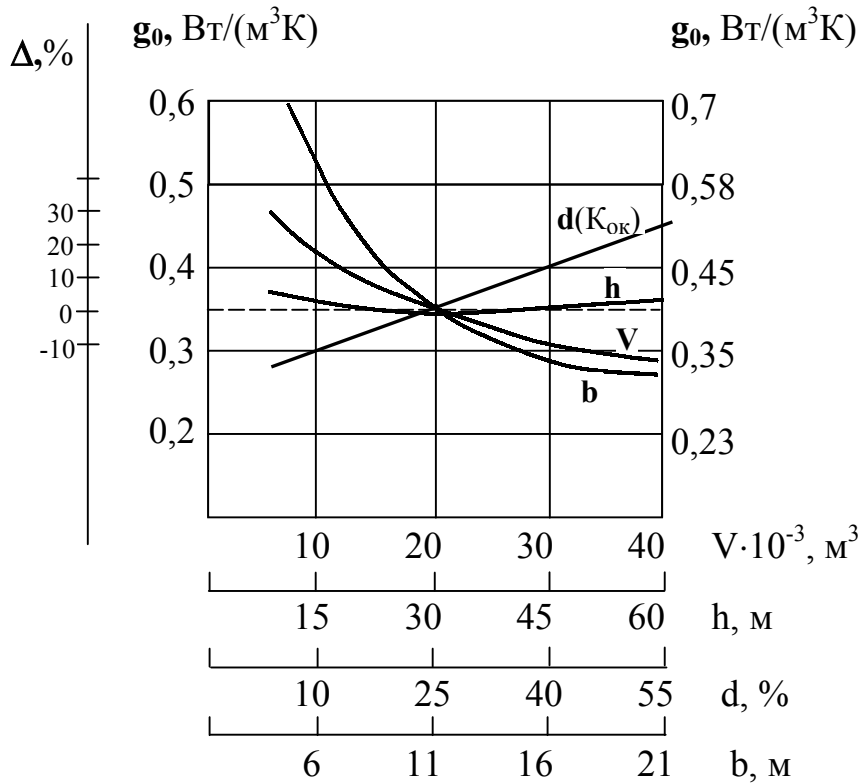


Рисунок 5.5 – Залежність питомої теплової характеристики будинку від його розмірів

Для визначення поточного або розрахункового навантаження замість питомої теплової характеристики необхідно використовувати більш повний показник  $g_{оп}$  :

$$g_{оп} = \beta ( g_{зах} + g_l - g_{тех} - g_{ср} ), \quad (5.41)$$

де  $\beta$  - виправний коефіцієнт, який враховує втрати тепла трубопроводами та іншими елементами системи опалення;

$g_{зах}$  - питомі тепловтрати через захисні конструкції за рахунок теплопередачі;

$g_I$  - питомі витрати тепла на нагрів інфільтрації повітря;  
 $g_{TECH}$  - питомі внутрішні (побутові та технологічні) тепловиділення;  
 $g_{CP}$  - питомі теплові надходження за рахунок сонячної радіації.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Навести відхилення реальних умов в приміщенні від розрахункових взимку.
2. Що називають вибором?
3. Що таке випадок?
4. Навести пояснення коефіцієнта забезпеченості.
5. Які випадки називають залежними, а які незалежними?
6. Навести розрахункове сполучення випадків для зими.
7. Навести характеристики зовнішнього клімату, які прийняті для розрахунків.
8. Поясніть, чим визначаються теплозахисні властивості зовнішніх захисних конструкцій.
9. Як здійснюється визначення найбільших втрат тепла приміщення?
10. Як визначити кількість тепла на нагрівання повітря, яке інфільтрується в приміщенні?
11. Поясніть теплопередачу опалювального приладу.
12. Як здійснюється охолодження приміщення при відключенні системи опалення?
13. Наведіть теплову характеристику будинку.
14. Покажіть залежність питомої теплової характеристики будинку від його розмірів.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Практикум з будівельної теплофізики. Навчальний посібник /Г.С.Ратушняк, Г.С.Попова. – Вінниця: ВДТУ, 1998. – 86 с.
2. Богословський В.К. Строительная теплофизика: Учебн. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1982. – 415 с.
3. СНиП 3-79\*\* Строительная теплотехника. –М.: Стройиздат, 1982.
4. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. – М.: Стройиздат, 1983.
5. Расчет и проектирование ограждающих конструкций зданий. – М.: Стройиздат, 1990. – 239 с.
6. Строительная физика /Е.Шильз. Пер.с нем. В.Г.Бердичевского. – М.: Стройиздат, 1982. – 296 с.
7. Ильинский В.К. Строительная теплофизика. – М.: Стройиздат, 1974.
8. Тихомиров К.В., Сергиенко Э.С. Теплотехника, теплоснабжение и вентиляция. Учебник для вузов. – 4-е изд. перераб. и доп. –М.: Стройиздат 1991. – 480 с.
9. Гурьянов Н.С. Способ оценки фактической величины приведенного сопротивления теплопередачи наружных ограждающих конструкций зданий //Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 000 “РИА Композит”, 2003, №12, С. 20-21.
10. Гусев Н.М., Климов П.П. Строительная физика. – М.: Стройиздат, 1965. – 223 с.
11. Будівельна теплофізика: Методичні вказівки до роботи. /Руденко А.А., Мельник В.О., Кільчик Ю.М., Барановська С.В., Швачко Н.А. – К.:КНУБА, 2002.-52 с.
12. Учебное пособие «Теплотехнические расчеты ограждающих конструкций» /Сост. С.И. Монах, И.В. Губарь – Макеевка, ДонГАСА, 2001. – 69 с.

## Додаток А

Таблиця А.1 - НОРМАТИВИ ОПОРІВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ЗОВНІШНІХ  
 КОНСТРУКЦІЙ ЖИТЛОВО-ГРОМАДСЬКИХ БУДИНКІВ І СПОРУД  
 НОВОГО БУДІВНИЦТВА, РЕКОНСТРУКЦІЇ  
 І КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ

Захисні конструкції	Нормативні значення опорів теплопередачі захисних конструкцій, ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт			
<b>А. Нове будівництво</b>				
1 Крупнопанельні, монолітні та об'ємно-блочні з утепленням:				
а) з полімерних матеріалів	2,5	2,4	2,2	2,0
б) з мінераловати або інших матеріалів	2,2	2,1	1,9	1,8
2 Блочні:				
а) з ніздрюватого бетону	2,0	1,9	1,7	1,5
б) з пористим заповнювачем	1,8	1,7	1,5	1,3
3 Цегляні з керамічних каменів та дрібних блоків:				
а) повнотілі з утепленням	2,2	2,1	1,9	1,7
б) багатошлітинні	1,6	1,5	1,4	1,2
<b>Покриття і перекриття</b>				
4 Покриття і перекриття горищ (окрім "теплих")	2,7	2,5	2,4	2,0
5 Перекриття над проїздами і холодними підвалами, які сполучаються з зовнішнім повітрям	3,0	2,9	2,4	2,2
6 Перекриття над підвалами, які не опалюються:				
а) зі світловими прорізами в стінах	2,5	2,4	2,2	2,0
б) без світлових прорізів в стінах	2,3	2,2	2,0	1,8
Вікна і балконні двері	0,5	0,42	0,42	0,39
<b>Б. Реконструкція, капітальний ремонт</b>				
1 Зовнішні стіни	2,2	2,1	1,9	1,7
2 Покриття і перекриття горищ	2,5	2,4	2,2	2,0
3 Перекриття на проїздами і підвалами	Як для нового будівництва			
4 Вікна і балконні двері				

Додаток Б

Таблиця Б.1 - ПОВТОРЮВАНІСТЬ ШВИДКОСТІ ВІТРУ

Найменування пунктів	Повторюваність вітру за напрямками та повторюваність штилів в % середня швидкість вітру в м/сек																		Швидкість вітру в м/сек., що можлива один раз за число років				
	Січень									Липень									1	5	10	15	20
	Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	ШТИЛЬ	Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	ШТИЛЬ					
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
<b>Вінниця</b>	$\frac{12}{3,7}$	$\frac{13}{3,4}$	$\frac{7}{2,6}$	$\frac{11}{3,6}$	$\frac{15}{3,6}$	$\frac{14}{3,3}$	$\frac{14}{4,5}$	$\frac{14}{4,7}$	7	$\frac{23}{2,8}$	$\frac{11}{2,6}$	$\frac{5}{2,4}$	$\frac{6}{2,9}$	$\frac{8}{3,1}$	$\frac{8}{2,8}$	$\frac{14}{3,2}$	$\frac{25}{3,3}$	11	18	21	22	22	23
Жмеринка	$\frac{11}{3,6}$	$\frac{10}{3,7}$	$\frac{9}{3,7}$	$\frac{11}{3,8}$	$\frac{16}{4,1}$	$\frac{12}{3,4}$	$\frac{16}{4,2}$	$\frac{15}{5,1}$	2	$\frac{17}{3,1}$	$\frac{9}{2,7}$	$\frac{6}{2,4}$	$\frac{8}{2,8}$	$\frac{8}{3,1}$	$\frac{7}{2,4}$	$\frac{18}{2,9}$	$\frac{27}{3,5}$	3	18	20	21	22	23
Могилів-Подільський	$\frac{7}{3,0}$	$\frac{8}{2,9}$	$\frac{15}{2,7}$	$\frac{24}{3,0}$	$\frac{4}{2,9}$	$\frac{3}{3,0}$	$\frac{16}{3,2}$	$\frac{23}{4,0}$	17	$\frac{13}{3,1}$	$\frac{6}{2,6}$	$\frac{8}{2,2}$	$\frac{10}{2,4}$	$\frac{5}{2,9}$	$\frac{5}{2,9}$	$\frac{20}{2,9}$	$\frac{33}{3,2}$	18	17	20	21	22	23
<b>Луцьк</b>	$\frac{4}{3,8}$	$\frac{4}{3,7}$	$\frac{8}{3,8}$	$\frac{13}{4,8}$	$\frac{18}{4,9}$	$\frac{14}{4,9}$	$\frac{23}{6,3}$	$\frac{16}{5,9}$	7	$\frac{7}{3,4}$	$\frac{6}{2,9}$	$\frac{7}{3,6}$	$\frac{8}{3,0}$	$\frac{10}{2,7}$	$\frac{12}{3,4}$	$\frac{26}{4,1}$	$\frac{24}{4,0}$	14	24	28	31	32	33
<b>Луганськ</b>	$\frac{5}{3,7}$	$\frac{10}{4,0}$	$\frac{27}{5,4}$	$\frac{15}{5,2}$	$\frac{5}{6,3}$	$\frac{12}{6,8}$	$\frac{17}{5,3}$	$\frac{9}{4,2}$	19	$\frac{10}{4,0}$	$\frac{13}{4,1}$	$\frac{13}{3,6}$	$\frac{7}{3,7}$	$\frac{4}{4,0}$	$\frac{11}{4,4}$	$\frac{23}{4,0}$	$\frac{19}{4,4}$	27	27	30	31	32	33
<b>Дніпропетровськ</b>	$\frac{9}{-}$	$\frac{13}{-}$	$\frac{10}{-}$	$\frac{15}{-}$	$\frac{15}{-}$	$\frac{13}{-}$	$\frac{9}{-}$	$\frac{16}{-}$	12	$\frac{17}{-}$	$\frac{9}{-}$	$\frac{6}{-}$	$\frac{5}{-}$	$\frac{9}{-}$	$\frac{8}{-}$	$\frac{15}{-}$	$\frac{31}{-}$	21	21	24	25	26	27
Кривий ріг	$\frac{15}{6,2}$	$\frac{16}{6,0}$	$\frac{15}{5,9}$	$\frac{11}{5,8}$	$\frac{9}{5,5}$	$\frac{11}{6,1}$	$\frac{12}{5,9}$	$\frac{11}{5,9}$	6	$\frac{22}{4,9}$	$\frac{15}{4,3}$	$\frac{7}{3,9}$	$\frac{5}{4,4}$	$\frac{4}{3,9}$	$\frac{9}{4,0}$	$\frac{15}{4,4}$	$\frac{23}{4,5}$	9	24	28	29	30	31
<b>Донецьк</b>	$\frac{7}{5,6}$	$\frac{13}{5,1}$	$\frac{16}{6,0}$	$\frac{26}{6,2}$	$\frac{5}{5,4}$	$\frac{13}{6,3}$	$\frac{12}{5,8}$	$\frac{8}{4,7}$	4	$\frac{14}{4,9}$	$\frac{15}{4,4}$	$\frac{13}{3,4}$	$\frac{10}{3,7}$	$\frac{5}{3,6}$	$\frac{12}{4,3}$	$\frac{15}{4,4}$	$\frac{16}{4,7}$	12	-	-	-	-	-
<b>Житомир</b>	$\frac{8}{2,9}$	$\frac{12}{2,8}$	$\frac{6}{3,2}$	$\frac{13}{4,1}$	$\frac{14}{4,3}$	$\frac{15}{4,5}$	$\frac{18}{5,4}$	$\frac{14}{4,6}$	6	$\frac{13}{2,9}$	$\frac{9}{2,5}$	$\frac{5}{2,5}$	$\frac{6}{2,9}$	$\frac{7}{3,1}$	$\frac{11}{3,0}$	$\frac{24}{3,1}$	$\frac{25}{3,3}$	15	21	24	25	26	27
<b>Ужгород</b>	$\frac{10}{4,2}$	$\frac{10}{4,0}$	$\frac{14}{3,1}$	$\frac{40}{3,6}$	$\frac{8}{2,9}$	$\frac{2}{2,4}$	$\frac{4}{2,0}$	$\frac{12}{4,0}$	39	$\frac{14}{3,2}$	$\frac{18}{3,2}$	$\frac{11}{3,1}$	$\frac{15}{3,1}$	$\frac{9}{3,2}$	$\frac{6}{2,6}$	$\frac{7}{2,8}$	$\frac{20}{3,4}$	32	16	19	20	21	22
<b>Запоріжжя</b>	$\frac{13}{4,1}$	$\frac{17}{4,8}$	$\frac{14}{5,4}$	$\frac{12}{5,0}$	$\frac{13}{3,8}$	$\frac{13}{3,6}$	$\frac{10}{3,5}$	$\frac{8}{4,0}$	7	$\frac{22}{3,6}$	$\frac{19}{3,5}$	$\frac{8}{3,5}$	$\frac{5}{3,3}$	$\frac{9}{2,7}$	$\frac{10}{2,8}$	$\frac{10}{3,0}$	$\frac{17}{3,8}$	12	21	25	26	27	28
<b>Івано-Франківськ</b>	$\frac{5}{3,2}$	$\frac{1}{1,3}$	$\frac{8}{3,0}$	$\frac{27}{3,9}$	$\frac{4}{1,9}$	$\frac{7}{3,5}$	$\frac{25}{5,2}$	$\frac{23}{5,8}$	33	$\frac{9}{2,7}$	$\frac{2}{2,1}$	$\frac{5}{2,4}$	$\frac{13}{2,8}$	$\frac{3}{2,0}$	$\frac{7}{2,5}$	$\frac{18}{3,7}$	$\frac{43}{4,1}$	33	24	30	33	34	35

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<b>Київ</b>	$\frac{11}{3,7}$	$\frac{10}{3,0}$	$\frac{11}{2,5}$	$\frac{12}{3,3}$	$\frac{9}{3,1}$	$\frac{11}{3,8}$	$\frac{20}{4,3}$	$\frac{16}{4,1}$	8	$\frac{18}{3,3}$	$\frac{12}{2,7}$	$\frac{8}{2,0}$	$\frac{7}{2,5}$	$\frac{5}{2,9}$	$\frac{8}{3,0}$	$\frac{18}{3,3}$	$\frac{24}{3,3}$	14	17	21	22	23	24
<b>Кіровоград</b>	$\frac{14}{4,8}$	$\frac{10}{4,8}$	$\frac{8}{4,2}$	$\frac{16}{4,8}$	$\frac{12}{5,4}$	$\frac{12}{5,1}$	$\frac{14}{5,9}$	$\frac{14}{5,5}$	8	$\frac{24}{4,3}$	$\frac{13}{3,7}$	$\frac{7}{4,3}$	$\frac{5}{3,0}$	$\frac{6}{3,9}$	$\frac{7}{4,0}$	$\frac{15}{4,1}$	$\frac{23}{4,2}$	17	21	24	25	26	27
<b>Сімферополь</b>	$\frac{5}{3,4}$	$\frac{23}{5,8}$	$\frac{11}{3,9}$	$\frac{17}{3,2}$	$\frac{12}{5,2}$	$\frac{19}{6,0}$	$\frac{7}{5,8}$	$\frac{6}{3,8}$	15	$\frac{6}{4,1}$	$\frac{12}{4,6}$	$\frac{17}{3,0}$	$\frac{20}{2,8}$	$\frac{6}{3,1}$	$\frac{14}{3,1}$	$\frac{17}{5,1}$	$\frac{8}{4,4}$	13	23	27	29	31	32
<b>Львів</b>	$\frac{4}{3,2}$	$\frac{6}{4,1}$	$\frac{9}{5,0}$	$\frac{16}{4,8}$	$\frac{12}{4,1}$	$\frac{18}{6,0}$	$\frac{23}{6,4}$	$\frac{12}{5,4}$	16	$\frac{7}{3,4}$	$\frac{7}{3,3}$	$\frac{5}{2,4}$	$\frac{7}{3,1}$	$\frac{9}{3,2}$	$\frac{14}{3,6}$	$\frac{31}{4,5}$	$\frac{20}{4,3}$	24	24	28	30	31	32
<b>Миколаїв</b>	$\frac{15}{5,2}$	$\frac{21}{5,4}$	$\frac{12}{4,6}$	$\frac{11}{4,7}$	$\frac{10}{4,5}$	$\frac{10}{4,5}$	$\frac{8}{4,0}$	$\frac{13}{4,5}$	6	$\frac{23}{4,1}$	$\frac{18}{3,2}$	$\frac{4}{2,7}$	$\frac{3}{2,6}$	$\frac{6}{4,6}$	$\frac{14}{4,0}$	$\frac{9}{3,2}$	$\frac{23}{4,0}$	10	21	24	25	26	27
<b>Одеса</b>	$\frac{19}{6,2}$	$\frac{15}{8,5}$	$\frac{11}{8,0}$	$\frac{5}{5,0}$	$\frac{8}{4,8}$	$\frac{11}{4,6}$	$\frac{14}{4,5}$	$\frac{17}{5,1}$	1	$\frac{22}{4,9}$	$\frac{8}{4,2}$	$\frac{3}{2,8}$	$\frac{6}{2,9}$	$\frac{15}{3,9}$	$\frac{12}{3,3}$	$\frac{12}{3,6}$	$\frac{22}{4,3}$	2	22	24	25	25	26
<b>Полтава</b>	$\frac{8}{4,8}$	$\frac{13}{5,1}$	$\frac{14}{5,0}$	$\frac{14}{5,0}$	$\frac{11}{5,3}$	$\frac{16}{5,6}$	$\frac{14}{6,2}$	$\frac{10}{5,8}$	2	$\frac{15}{4,6}$	$\frac{15}{2,6}$	$\frac{11}{2,4}$	$\frac{6}{2,9}$	$\frac{8}{3,1}$	$\frac{8}{2,8}$	$\frac{14}{3,2}$	$\frac{25}{3,3}$	11	18	21	22	22	23
<b>Рівне</b>	$\frac{7}{4,9}$	$\frac{5}{3,9}$	$\frac{8}{4,5}$	$\frac{13}{5,4}$	$\frac{14}{5,1}$	$\frac{14}{6,1}$	$\frac{27}{7,5}$	$\frac{12}{6,5}$	7	$\frac{10}{4,0}$	$\frac{7}{3,3}$	$\frac{5}{2,8}$	$\frac{8}{3,2}$	$\frac{7}{3,4}$	$\frac{11}{3,7}$	$\frac{29}{4,6}$	$\frac{23}{4,9}$	16	24	28	30	31	32
<b>Суми</b>	$\frac{7}{4,5}$	$\frac{9}{3,8}$	$\frac{10}{3,8}$	$\frac{19}{5,0}$	$\frac{13}{5,1}$	$\frac{16}{5,9}$	$\frac{14}{5,9}$	$\frac{12}{4,8}$	6	$\frac{13}{3,7}$	$\frac{13}{3,3}$	$\frac{6}{3,3}$	$\frac{8}{2,8}$	$\frac{9}{3,7}$	$\frac{9}{3,5}$	$\frac{17}{4,5}$	$\frac{25}{4,3}$	12	-	-	-	-	-
<b>Харків</b>	$\frac{9}{4,9}$	$\frac{12}{5,2}$	$\frac{16}{5,0}$	$\frac{17}{4,6}$	$\frac{10}{4,1}$	$\frac{12}{4,4}$	$\frac{13}{4,7}$	$\frac{11}{4,8}$	8	$\frac{17}{4,4}$	$\frac{14}{4,5}$	$\frac{12}{4,2}$	$\frac{9}{3,2}$	$\frac{4}{3,0}$	$\frac{9}{3,7}$	$\frac{14}{4,4}$	$\frac{21}{4,3}$	16	27	32	34	35	36
<b>Херсон</b>	$\frac{16}{5,4}$	$\frac{23}{6,2}$	$\frac{17}{5,9}$	$\frac{12}{4,1}$	$\frac{7}{3,6}$	$\frac{7}{4,0}$	$\frac{8}{4,4}$	$\frac{10}{4,8}$	12	$\frac{22}{4,1}$	$\frac{14}{4,0}$	$\frac{9}{3,6}$	$\frac{5}{3,2}$	$\frac{7}{2,8}$	$\frac{18}{3,3}$	$\frac{10}{3,5}$	$\frac{15}{4,1}$	14	23	26	27	28	29
<b>Хмельницький</b>	$\frac{5}{4,3}$	$\frac{5}{4,0}$	$\frac{7}{4,3}$	$\frac{21}{4,9}$	$\frac{14}{4,2}$	$\frac{10}{4,7}$	$\frac{18}{5,3}$	$\frac{20}{5,7}$	13	$\frac{8}{3,4}$	$\frac{6}{3,1}$	$\frac{6}{3,3}$	$\frac{10}{3,7}$	$\frac{6}{3,8}$	$\frac{9}{3,5}$	$\frac{23}{3,7}$	$\frac{32}{5,1}$	26	-	-	-	-	-
<b>Черкаси</b>	$\frac{-}{5,9}$	$\frac{-}{3,3}$	$\frac{-}{4,5}$	$\frac{-}{4,0}$	$\frac{-}{4,4}$	$\frac{-}{4,8}$	$\frac{-}{5,8}$	$\frac{-}{6,0}$	-	$\frac{-}{4,4}$	$\frac{-}{3,3}$	$\frac{-}{2,8}$	$\frac{-}{2,1}$	$\frac{-}{3,5}$	$\frac{-}{3,2}$	$\frac{-}{4,6}$	$\frac{-}{4,6}$	-	-	-	-	-	-
<b>Чернігів</b>	$\frac{10}{4,0}$	$\frac{10}{3,0}$	$\frac{11}{3,7}$	$\frac{12}{4,4}$	$\frac{14}{4,6}$	$\frac{14}{4,1}$	$\frac{16}{4,2}$	$\frac{13}{4,5}$	6	$\frac{18}{3,5}$	$\frac{9}{3,0}$	$\frac{10}{2,9}$	$\frac{7}{3,0}$	$\frac{7}{2,9}$	$\frac{8}{3,3}$	$\frac{17}{3,7}$	$\frac{24}{3,8}$	12	17	20	21	22	23
<b>Чернівці</b>	$\frac{3}{2,0}$	$\frac{2}{2,3}$	$\frac{19}{3,7}$	$\frac{20}{4,3}$	$\frac{4}{1,9}$	$\frac{6}{2,5}$	$\frac{10}{4,5}$	$\frac{36}{5,4}$	17	$\frac{6}{2,9}$	$\frac{3}{2,0}$	$\frac{8}{3,0}$	$\frac{11}{3,4}$	$\frac{4}{2,0}$	$\frac{7}{2,1}$	$\frac{18}{3,7}$	$\frac{43}{4,2}$	20	22	26	27	28	30

## Додаток В

Таблиця В.1 - АМПЛІТУДА КОЛИВАНЬ ТЕМПЕРАТУРИ

Назва міста	Амплітуда коливань температури <u>середні</u> в °С максимальні											
	по місяцях											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Вінниця</b>	<u>5,9</u> 23,4	<u>6,5</u> 20,5	<u>7,1</u> 24,4	<u>9,4</u> 19,9	<u>11,3</u> 20,2	<u>11,5</u> 21,5	<u>11,9</u> 22,3	<u>11,6</u> 22,5	<u>11,1</u> 20,9	<u>8,5</u> 21,6	<u>5,1</u> 19,7	<u>4,8</u> 16,4
<b>Дніпропетровськ</b>	<u>5,4</u> 19,3	<u>5,9</u> 15,3	<u>6,9</u> 16,9	<u>10,0</u> 18,7	<u>11,3</u> 18,9	<u>11,3</u> 18,9	<u>11,3</u> 19,2	<u>11,6</u> 19,6	<u>11,0</u> 20,5	<u>8,6</u> 18,6	<u>5,9</u> 14,8	<u>5,0</u> 15,6
<b>Донецьк</b>	<u>5,5</u> 19,4	<u>5,9</u> 16,2	<u>6,8</u> 14,3	<u>9,8</u> 21,0	<u>11,2</u> 18,5	<u>10,9</u> 17,5	<u>11,3</u> 19,5	<u>11,2</u> 20,3	<u>10,5</u> 20,1	<u>7,8</u> 15,3	<u>5,6</u> 14,2	<u>4,9</u> 19,6
<b>Запоріжжя</b>	<u>5,8</u> 23,7	<u>6,4</u> 18,0	<u>8,0</u> 22,2	<u>11,2</u> 22,2	<u>12,3</u> 20,7	<u>12,4</u> 21,1	<u>13,3</u> 21,6	<u>13,2</u> 21,8	<u>12,8</u> 21,7	<u>9,9</u> 20,6	<u>6,6</u> 20,7	<u>5,5</u> 17,4
<b>Київ</b>	<u>5,3</u> 19,5	<u>5,8</u> 21,7	<u>6,8</u> 16,8	<u>8,7</u> 19,6	<u>10,3</u> 20,3	<u>10,6</u> 17,4	<u>10,8</u> 18,4	<u>10,7</u> 16,9	<u>10,2</u> 18,0	<u>7,6</u> 16,8	<u>4,8</u> 15,3	<u>4,4</u> 17,0
<b>Кіровоград</b>	<u>6,1</u> 22,6	<u>6,2</u> 17,2	<u>7,3</u> 18,2	<u>11,0</u> 21,9	<u>12,5</u> 22,3	<u>12,6</u> 23,4	<u>12,9</u> 22,0	<u>13,3</u> 23,7	<u>12,8</u> 25,4	<u>9,4</u> 25,4	<u>6,1</u> 19,0	<u>5,4</u> 15,5
<b>Луганськ</b>	<u>6,1</u> 21,5	<u>6,8</u> 20,8	<u>7,7</u> 23,8	<u>11,6</u> 23,3	<u>13,8</u> 24,0	<u>13,6</u> 22,7	<u>13,9</u> 22,1	<u>14,2</u> 23,8	<u>13,8</u> 24,2	<u>10,3</u> 23,6	<u>6,7</u> 19,9	<u>5,4</u> 20,2
<b>Севастополь</b>	<u>6,4</u> 20,0	<u>6,2</u> 17,0	<u>6,9</u> 17,5	<u>8,0</u> 18,8	<u>8,4</u> 18,1	<u>8,5</u> 16,5	<u>8,7</u> 15,5	<u>8,7</u> 17,6	<u>11,0</u> 15,7	<u>5,4</u> 16,7	<u>5,9</u> 16,3	<u>6,9</u> 16,7
<b>Сімферополь</b>	<u>8,2</u> 23,1	<u>8,7</u> 20,4	<u>10,0</u> 22,0	<u>12,5</u> 26,5	<u>13,4</u> 23,9	<u>13,1</u> 24,0	<u>14,0</u> 21,8	<u>14,2</u> 23,2	<u>14,1</u> 22,9	<u>11,9</u> 23,6	<u>9,6</u> 22,5	<u>8,2</u> 21,7
<b>Феодосія</b>	<u>6,0</u> 21,4	<u>6,2</u> 19,4	<u>6,6</u> 17,7	<u>7,6</u> 16,0	<u>8,4</u> 18,2	<u>8,4</u> 15,0	<u>8,6</u> 15,5	<u>8,5</u> 16,1	<u>8,3</u> 15,0	<u>7,4</u> 17,1	<u>6,2</u> 14,6	<u>5,9</u> 17,1

## Продовження таблиці В.1

<b>Ялта</b>	<u>6,0</u> 17,8	<u>6,1</u> 15,3	<u>6,7</u> 21,0	<u>7,3</u> 20,0	<u>7,6</u> 17,7	<u>8,0</u> 15,5	<u>8,4</u> 16,9	<u>8,5</u> 14,9	<u>8,5</u> 14,5	<u>7,7</u> 15,9	<u>6,7</u> 13,6	<u>6,2</u> 14,7
<b>Львів</b>	<u>6,0</u> 20,4	<u>6,4</u> 18,0	<u>7,2</u> 23,4	<u>9,3</u> 20,3	<u>10,3</u> 18,5	<u>10,4</u> 21,6	<u>10,6</u> 19,3	<u>10,4</u> 21,4	<u>9,9</u> 19,3	<u>8,5</u> 20,0	<u>5,2</u> 16,8	<u>5,1</u> 14,3
<b>Одеса</b>	<u>5,2</u> 21,2	<u>5,6</u> 16,6	<u>5,9</u> 17,7	<u>6,8</u> 18,5	<u>7,2</u> 16,7	<u>8,1</u> 21,7	<u>8,8</u> 14,7	<u>8,6</u> 21,0	<u>8,0</u> 17,7	<u>6,6</u> 19,0	<u>5,1</u> 12,7	<u>4,9</u> 14,3
<b>Ізмаїл</b>	<u>6,9</u> 17,9	<u>7,5</u> 18,5	<u>8,5</u> 23,1	<u>10,7</u> 23,0	<u>10,8</u> 22,5	<u>11,0</u> 21,1	<u>11,8</u> 17,5	<u>12,3</u> 19,8	<u>11,9</u> 20,2	<u>10,7</u> 24,8	<u>7,0</u> 19,3	<u>6,8</u> 20,5
<b>Полтава</b>	<u>5,5</u> 18,1	<u>5,7</u> 18,0	<u>6,5</u> 15,0	<u>9,4</u> 17,3	<u>11,6</u> 19,1	<u>11,3</u> 21,7	<u>11,5</u> 17,8	<u>11,3</u> 18,6	<u>11,0</u> 18,3	<u>8,1</u> 18,3	<u>5,4</u> 14,8	<u>4,8</u> 15,5
<b>Суми</b>	<u>6,3</u> 21,2	<u>6,4</u> 18,8	<u>6,7</u> 17,4	<u>8,7</u> 19,9	<u>11,4</u> 19,7	<u>11,7</u> 21,2	<u>11,6</u> 19,0	<u>11,6</u> 21,9	<u>10,9</u> 19,7	<u>7,7</u> 23,0	<u>5,0</u> 16,3	<u>4,8</u> 17,6
<b>Ужгород</b>	<u>6,6</u> 18,8	<u>6,7</u> 24,4	<u>9,2</u> 22,1	<u>10,6</u> 21,4	<u>11,6</u> 20,5	<u>11,6</u> 23,1	<u>11,1</u> 22,5	<u>11,6</u> 22,2	<u>11,7</u> 19,9	<u>10,5</u> 23,3	<u>6,4</u> 17,1	<u>5,4</u> 17,3
<b>Харків</b>	<u>5,6</u> 18,5	<u>6,3</u> 20,4	<u>7,0</u> 18,5	<u>10,0</u> 19,9	<u>12,1</u> 21,7	<u>12,6</u> 20,5	<u>11,6</u> 22,0	<u>12,2</u> 21,0	<u>11,9</u> 25,4	<u>8,8</u> 24,2	<u>5,8</u> 16,0	<u>4,9</u> 16,8
<b>Херсон</b>	<u>6,2</u> 22,8	<u>6,4</u> 16,6	<u>8,1</u> 20,1	<u>11,0</u> 23,3	<u>11,8</u> 21,7	<u>12,0</u> 19,9	<u>12,7</u> 19,8	<u>12,7</u> 21,6	<u>12,3</u> 24,6	<u>9,8</u> 20,9	<u>6,5</u> 18,8	<u>5,8</u> 16,5
<b>Хмельницький</b>	<u>5,9</u> 23,2	<u>6,4</u> 18,5	<u>8,0</u> 21,9	<u>10,7</u> 22,5	<u>11,6</u> 20,2	<u>11,5</u> 23,1	<u>11,9</u> 19,8	<u>11,8</u> 20,3	<u>11,5</u> 21,1	<u>8,8</u> 21,3	<u>5,4</u> 16,9	<u>5,0</u> 15,6
<b>Черкаси</b>	<u>6,1</u> 25,5	<u>6,6</u> 23,1	<u>7,7</u> 25,9	<u>10,8</u> 22,1	<u>12,2</u> 23,4	<u>12,3</u> 22,4	<u>12,7</u> 21,9	<u>12,7</u> 22,3	<u>12,3</u> 22,9	<u>9,1</u> 23,9	<u>5,7</u> 20,5	<u>5,2</u> 17,1
<b>Чернігів</b>	<u>5,7</u> 28,1	<u>6,2</u> 18,0	<u>7,2</u> 23,4	<u>9,3</u> 20,3	<u>10,3</u> 18,5	<u>10,4</u> 21,6	<u>10,6</u> 19,3	<u>10,4</u> 21,4	<u>9,9</u> 19,3	<u>8,5</u> 20,0	<u>5,2</u> 16,8	<u>5,1</u> 14,3
<b>Чернівці</b>	<u>6,4</u> 23,6	<u>6,7</u> 20,1	<u>8,0</u> 20,1	<u>10,9</u> 22,8	<u>11,3</u> 21,3	<u>11,0</u> 20,5	<u>11,4</u> 19,9	<u>11,8</u> 20,4	<u>11,7</u> 23,1	<u>9,6</u> 21,3	<u>5,7</u> 16,8	<u>5,7</u> 16,5



## Додаток Г

Таблиця Г.1 - ЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ДЕЯКИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Матеріали	Щільність $\rho$ , кг/м <sup>2</sup>	Тепло- провідність, $\lambda$ , Вт/(м·°К)		Коефіцієнт тепло- засвоєння S, Вт/(м·°К)		Кое- фіцієнт $\mu$ , г/(м·год Па)	
		за умов експлуатації					
		А	В	А	В		
1	Залізобетон	2500	1,92	2,08	17,85	18,9	-
2	Шлакобетон на паливних шлаках	1800	0,74	0,86	8,7	9,2	0,004
3		1400	0,581	0,64	7,9	8,7	0,012
4		1000	0,35	0,407	5,02	5,81	0,012
5	Шлакобетон на гра- нулльованих шлаках	1800	0,697	0,713	9,85	11,0	0,011
6		1200	0,465	0,523	6,49	7,3	0,014
7	Керамзитобетон	1600	0,64	0,755	8,97	10,45	0,014
8		1400	0,523	0,581	7,55	8,6	0,013
9		1200	0,407	0,465	6,2	7,11	0,014
10		800	0,232	0,291	3,78	4,6	0,025
11	Газо- і пінобетон	1000	0,35	0,407	5,63	6,58	0,015
12	газо- піносилікат	600	0,174	0,209	2,98	3,49	0,023
13		300	0,105	0,128	1,63	1,93	0,035
14	Вата мінеральна	100	0,047	0,049	0,53	0,58	0,065
15		150	0,961	0,055	0,68	0,76	0,065
16	Плити	300	0,049	0,052	0,55	0,61	0,065
<b>Хвойні породи дерев:</b>							
17	- поперек волокон	500	0,14	0,175	3,98	4,6	0,082
18	- вздовж волокон	500	0,291	0,349	5,75	6,51	0,042
<b>Цегла:</b>							
19	- звичайна	1800	0,697	0,814	9,08	10,15	0,014
20	- порожниста	1600	0,518	0,640	7,89	8,42	0,015
21		1400	0,524	0,581	7,76	7,53	0,019
22	- легковагова	1200	0,465	0,524	6,11	6,6	0,021
23		1000	0,407	0,465	5,2	5,65	0,025
24	- силікатна	1800	0,755	0,871	9,73	10,5	0,011
<b>Розчин:</b>							
25	цементно-піщаний	1800	0,755	0,93	9,55	11,05	0,013
26	вапняно-піщаний	1600	0,697	0,814	8,63	9,75	0,0151



Додаток Д

Таблиця Д.1 - МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМИЙ ТЕМПЕРАТУРНИЙ ПЕРЕПАД МІЖ ТЕМПЕРАТУРОЮ ВНУТРІШНЬОГО ПОВІТРЯ ТА ТЕМПЕРАТУРОЮ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ЗАХИСНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Будинки та приміщення	Нормований температурний перепад $\Delta t^H$ , °C для		
	зовнішніх стін	покриттів та горизонтних покриттів	перекрыттів над проїздами та підвалами
1	2	3	4
Будинки житлові, лікарських закладів (лікарень, клінік, стаціонарів, госпіталів), пологові будинки, будинки дитини, притулки-інтернати для старих та інвалідів; спальні корпуси загальноосвітніх дитячих шкіл; будинки дитячих садків, ясел, ясел-садків, дитячих будинків та дитячих приймалень-розподільовачів	6	4	2
Будинки диспансерів та амбулаторно-поліклінічних закладів; навчальні корпуси загальноосвітніх дитячих шкіл	6	4,5	2,5
Громадські будівлі, окрім наведених у п.п.1 і 2, та допоміжні будинки і приміщення промислових підприємств, за винятком приміщень з вологим та мокрим режимом	7	5,5	2,5
Виробничі будівлі з сухим режимом	$t_b - t_p$ , але не більше 10	0,8 ( $t_b - t_p$ ), але не більше 8	2,5
Виробничі будівлі з нормальним режимом	$t_b - t_p$ , але не більше 8	0,8 ( $t_b - t_p$ ), але не більше 7	2,5
Виробничі будівлі а також приміщення громадських будинків та допоміжних будівель промислових підприємств з вологим та мокрим режимом	$t_b - t_p$	0,8( $t_b - t_p$ )	2,5
Будинки картопле- та овочефрукто-сховищ	$t_b - t_p$	$t_b - t_p$	2,5

## Продовження таблиці Д.1

1	2	3	4
Виробничі будівлі зі значними надлишками явного тепла (більше 23 Вт/м <sup>3</sup> ) і розрахунковою відносною вологістю внутрішнього повітря не більше 50%	12	12	2,5

## П р и м і т к и:

1. Значення нормованого температурного перепаду  $\Delta t^H$  для перекриттів над проїздами та підвалами для будинків і приміщень, наведених у п.п. 4-8, стосуються тільки ділянок з постійними робочими місцями, якщо не виконуються умови, встановлені прим. 1 у табл. “Значення нормованих показників теплотозасвоєння поверхні підлог”.

2. Літерні позначення:

$t_b$  – розрахункова температура внутрішнього повітря у приміщенні, °С;

$t_p$  – температура точки роси, °С, при розрахунковій температурі і відносній вологості внутрішнього повітря у приміщенні.

## Додаток Е

Таблиця Е.1 - ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА  $n$ , ЩО ВРАХОВУЄ ПОЛОЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ПЕРЕКРИТТЯ ВІДНОСНО ЗОВНІШНЬОГО ПОВІТРЯ

Захисні конструкції	Коефіцієнт $n$
Покрівлі горищні (якщо покрівля зроблена зі штучних матеріалів) та над проїздами	1
Перекриття над холодними підвалами, що сполучаються із зовнішнім повітрям; покрівлі горищні (якщо покрівля зроблена із рулонних матеріалів)	0,9
Перекриття над неопалюваними підвалами зі світловими прорізами у стінах	0,75
Перекриття над неопалюваними підвалами без світлових прорізів у стінах, розташованих вище рівня землі	0,6
Перекриття над неопалюваними підвалами, розташованими нижче рівня землі	0,4

Додаток Ж

Таблиця Ж.1 - РОЗРАХУНКОВІ ПАРАМЕТРИ ТЕМПЕРАТУРИ  
ЗОВНІШНЬОГО ПОВІТРЯ ДЛЯ МІСТ УКРАЇНИ

Температура повітря, °С															Тривалість періоду з середньодобовою температурою ≤0°С,	Максимальна добова амплітуда температури повітря у липні, °С
найбільш холодних			середня за місяць													
одної доби	п'яти діб															
із забезпеченням																
0,98	0,92	0,92	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Z <sub>0</sub>	A <sub>Б</sub>
t <sub>1</sub> <sup>0,98</sup>	t <sub>1</sub> <sup>0,92</sup>	t <sub>5</sub> <sup>0,92</sup>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub>	t <sub>9</sub>	t <sub>10</sub>	t <sub>11</sub>	t <sub>12</sub>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>1. Вінниця</b>																
-29	-26	-21	-6	-5,3	-0,5	6,9	13,6	16,7	18,7	17,8	12,9	7,5	1,3	-3,4	116	-
<b>2. Дніпропетровськ</b>																
-28	-26	-23	-5,4	-4,8	0,4	9	16,4	19,8	22,3	21,3	15,7	8,8	2	-3,1	109	19,2
<b>3. Донецьк</b>																
-29	-27	-23	-6,6	-6,2	-1	-7,9	15,4	18,6	21,6	20,4	15	7,9	0,9	-4,2	122	-
<b>4. Житомир</b>																
-29	-25	-22	-5,7	-4,9	-0,4	7	13,9	17	18,9	17,8	13,1	7,2	1,3	-3,2	116	-
<b>5. Запоріжжя</b>																
-28	-25	-22	-4,9	-4,2	1	9	16,4	20,1	22,8	21,6	16	9,3	2,8	-2,3	102	-
<b>5.1 Бердянськ</b>																
-26	-22	-19	-3,8	-3,5	0,7	8,2	16	20,7	23,5	22,6	17,1	10,8	3,9	-1,2	98	-
<b>6. Івано-Франківськ</b>																
-26	-24	-20	-5,1	-3,7	1,3	7,6	13,5	16,6	18,5	17,8	13,5	8,2	2,2	-2,4	102	-
<b>7. Київ</b>																
-29	-26	-22	-5,9	-5,2	-0,4	7,5	14,7	17,8	19,8	18,7	13,9	7,5	1,2	-3,5	118	18,4
<b>8. Кіровоград</b>																
-29	-26	-22	-5,6	-5,1	-0,3	7,8	15,1	17,9	20,2	19,6	14,6	7,7	1,3	-3,3	116	22
<b>9. Луганськ</b>																
-32	-29	-25	-6,6	-6	-0,4	8,6	16,1	19,7	22,3	21	15	8,1	1,4	-3,8	117	22,1
<b>10. Луцьк</b>																
-27	-24	-20	-4,9	-3,9	0,5	7,3	13,7	17	18,6	17,6	13,2	7,7	2,3	-2,1	105	-
<b>11. Львів</b>																
-24	-23	-19	-5	-4,2	0,3	6,7	12,7	15,2	17,4	16,5	13	7,7	2,4	-2,6	106	19,3

## Продовження таблиці Ж.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>12. Миколаїв</b>																
-26	-23	-20	-3,5	-2,8	2,1	9,4	16,5	20,3	23,2	22,2	17	10,5	3,9	-1,2	91	-
<b>13. Одеса</b>																
-24	-21	-18	-2,5	-2	2	8,2	15	19,4	22,2	21,4	16,9	11,4	5,3	0,2	78	14,7
<b>13.1 Любашівка</b>																
-27	-24	-20	-5	-4,2	0,6	8,1	15	18,4	21	20,2	15,2	8,9	2,3	-2,6	108	-
<b>14. Полтава</b>																
-30	-27	-23	-6,9	-6,4	-1,3	7,6	15	18,3	20,6	19,7	14,3	7,4	0,6	-4,5	124	17,8
<b>15. Рівне</b>																
-27	-25	-21	-5,4	-4,4	0	6,9	13,5	16,9	18,5	17,5	13	7,4	1,8	-2,6	112	-
<b>16. Сімферополь</b>																
-22	-20	-16	-1	-0,7	3	9,3	14,6	19	21,8	21,2	16,4	11,4	5,8	1,5	56	-
<b>16.1 Джанкой</b>																
-23	-21	-17	-1,8	-1,3	2,9	9,4	16	20,4	23,3	22,4	17	11,3	5,4	0,9	65	-
<b>16.2 Євпаторія</b>																
-23	-20	-16	-0,1	-0,1	3,8	9,4	14,4	20	23,2	22,6	17,9	12,5	6,7	2,3	38	-
<b>16.3 Феодосія</b>																
-22	-19	-15	0,6	0,5	4,2	9,6	15,8	20,4	23,8	23,2	18,5	13,1	7,3	3,2	16	-
<b>16.4 Ялта</b>																
-10	-8	-6	4	3,8	5,9	10,3	15,6	20,3	23,7	23,5	19,1	14,2	9,3	6,1	0	16,9
<b>17 Суми</b>																
-32	-28	-24	-7,9	-7,6	-2,4	6,4	14	17,6	19,3	18,4	12,9	6,4	-0,2	-5,4	131	-
<b>18 Тернопіль</b>																
-26	-24	-21	-5,4	-4,4	0,1	7	13,5	16,6	18,4	17,4	13	7,4	1,8	-2,8	112	-
<b>19 Ужгород</b>																
-24	-22	-18	-3,1	-0,7	4,8	10	15,6	18,4	20,5	19,7	16,5	9,7	4,9	0,1	70	-
<b>20 Харків</b>																
-31	-28	-23	-7,3	-6,9	-1,7	7,7	15,1	18,6	20,8	19,7	14	7,1	0,3	-4,8	126	22
<b>21 Херсон</b>																
-27	-23	-19	-3,2	-2,6	2,2	9,3	16,2	20	23	21,9	16,8	10,5	4,1	-0,8	87	-

Продовження таблиці Ж.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>22 Хмельницький</b>																
-26	-25	-21	-5,6	-4,6	0	7	13,6	16,8	18,6	17,6	13	7	1,6	-3	113	-
<b>23 Черкаси</b>																
-29	-26	-22	-5,8	-5,6	-0,4	7,6	14,9	17,8	20	19,3	14	7,2	1,4	-3,5	117	21,9
<b>24 Чернігів</b>																
-30	-27	-23	-6,7	-6,2	-1,4	6,8	14,4	17,5	19,4	18,2	13,2	6,8	0,6	-4,2	126	18,2
<b>25 Чернівці</b>																
-26	-24	-20	-5	-3,5	1,5	8,3	14,3	17,4	19,3	18,6	14,2	8,6	2,4	-2,4	102	19,9

Примітка.

Якщо у таблиці для області наведені кліматичні параметри тільки для обласного центру (обласні центри виділені жирним шрифтом), то ці параметри треба приймати для усієї області. Якщо для області наведено декілька пунктів з різними значеннями кліматичних параметрів, то у випадку відсутності в таблиці даних для району будівництва значення кліматичних параметрів слід приймати рівними значенням кліматичних параметрів найближчого до нього пункту, наведеного у таблиці та розташованого у місцевості з аналогічними умовами.

Додаток И

Таблиця И.1 - МЕЖІ ДОПУСТИМИХ ПРИРОСТІВ РОЗРАХУНКОВОГО МАСОВОГО ВІДНОШЕННЯ ВОЛОГИ У МАТЕРІАЛАХ

Матеріал	Межа допустимого приросту $\Delta W_{\text{сер, \%}}$
1 Кладка з глиняної цегли чи керамічних блоків	1,5
2 Кладка з силікатної цегли	2,0
3 Легкі бетони на пористих заповнювачах (керамзитобетон, перлітобетон, пемзобетон, ін.)	5,0
4 Ніздрюваті бетони (газобетон, пінобетон, газосилікат і т.ін.)	6,0
5 Піногазоскло	1,5
6 Фіброліт цементний	7,5
7 Мінераловатні плити та мати	3,0
8 Пінополістирол	25,0
9 Теплоізоляційні засипки з керамзиту, шунгизиту, шлаку	3,0
10 Важкі бетони	2,0

Додаток К

Таблиця К.1 - ЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ПРУЖНОСТІ ВОДЯНОЇ ПАРИ  $E$ , Па, ДЛЯ РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУР ПРИ НОРМАЛЬНОМУ АТМОСФЕРНОМУ ТИСКУ ( $B = 101325$  Па)

Ціла частина $t, ^\circ\text{C}$	Дробова частина $t, ^\circ\text{C}$									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
34	5320	5349	5378	5409	5440	5469	5500	5530	5561	5592
33	5030	5058	5088	5116	5144	5173	5202	5232	5261	5290
32	4754	4782	4808	4836	4864	4890	4919	4946	4974	5002
31	4493	4518	4544	4570	4596	4622	4648	4673	4701	4728
30	4242	4268	4292	4317	4341	4366	4390	4416	4441	4466
28	3780	3801	3824	3846	3869	3890	3913	3936	3960	3982
27	3565	3586	3608	3628	3649	3672	3693	3714	3736	3758
26	3361	3381	3401	3421	3441	3461	3482	3502	3523	3544
25	3168	3186	3205	3224	3244	3263	3283	3301	3321	3341
24	2984	3001	3020	3033	3056	3074	3093	3112	3130	3149
23	2809	2826	2842	2860	2877	2894	2913	2930	2948	2965
22	2644	2660	2676	2692	2709	2725	2742	2758	2776	2792
21	2486	2502	2517	2533	2548	2564	2580	2596	2612	2628
20	2338	2352	2366	2381	2395	2410	2426	2441	2456	2472
19	2197	2210	2224	2238	2252	2266	2280	2294	2309	2324
18	2064	2076	2089	2102	2116	2129	2142	2156	2169	2182
17	1937	1949	1961	1974	1986	2000	2013	2025	2037	2050
16	1817	1829	1841	1853	1865	1877	1889	1901	1913	1925
15	1705	1716	1727	1739	1749	1760	1772	1783	1796	1806
14	1598	1608	1619	1629	1640	1651	1661	1672	1683	1694
13	1497	1507	1517	1527	1537	1547	1557	1567	1577	1588
12	1403	1412	1421	1431	1440	1449	1459	1468	1477	1487
11	1312	1321	1330	1339	1348	1357	1366	1375	1384	1393
10	1228	1236	1244	1252	1261	1269	1277	1286	1295	1304

Продовження таблиці К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9	1148	1156	1164	1172	1179	1187	1195	1203	1212	1220
8	1072	1080	1087	1093	1102	1109	1117	1125	1132	1140
7	1001	1008	1016	1023	1030	1037	1044	1051	1058	1065
6	935	941	948	955	961	968	975	981	988	995
5	872	879	885	891	987	903	909	916	922	928
4	813	819	825	831	836	842	848	854	860	866
3	757	762	768	774	780	785	791	796	802	808
2	705	710	716	721	727	732	737	742	747	752
1	657	661	666	671	676	681	685	690	695	700
0	611	615	620	624	628	633	637	642	647	652
-0	611	606	601	596	591	586	581	576	572	567
-1	562	557	553	548	544	539	535	530	525	521
-2	517	513	508	504	500	496	492	488	484	480
-3	476	472	468	464	460	456	452	448	444	440
-4	437	433	429	425	422	419	415	412	408	404
-5	401	397	394	391	388	384	381	378	375	371
-6	368	365	361	358	355	352	349	346	343	340
-7	337	334	332	329	326	323	320	317	314	311
-8	309	307	304	301	299	296	293	291	288	285
-9	283	281	279	276	273	271	269	267	264	262
-10	260	257	255	252	250	248	245	243	241	239
-11	237	235	233	231	229	227	225	223	221	219
-12	217	215	213	211	209	207	205	203	201	199
-13	198	196	195	193	191	189	187	185	184	182
-14	181	179	177	176	175	173	171	169	168	166
-15	165	164	163	161	159	157	156	154	153	152
-16	151	149	148	147	145	144	142	141	140	139
-17	137	136	135	133	132	131	130	129	127	125
-18	124	123	122	121	120	119	117	116	115	114
-19	113	112	111	110	109	108	107	105	104	103

Приклад:  $t = -16,8^{\circ}\text{C}$  . Отримуємо  $E = 140$  Па.



Додаток Л

Таблиця Л.1 - ОПІР ПАРПРОНИКНЕННЮ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ І ТОНКИХ ШАРІВ ПАРІЗОЛЯЦІЇ

Матеріал	Товщина шару, мм	Опір паропроникненню, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$
1 Листи азбестоцементні	6	0,3
2 Листи гіпсові обшивні (суха штукатурка)	10	0,12
3 Фарбування гарячим бітумом один раз	2	0,3
4 Фарбування гарячим бітумом два рази	4	0,48
5 Фарбування оліфою два рази з попереднім шпаклюванням та ґрунтуванням	-	0,64
6 Фарбування емалевою фарбою	-	0,48
7 Покриття ізольною мастикою один раз	2	0,6
8 Покриття бітумно-кукерсольною мастикою	1	0,64
9 Покриття бітумно-кукерсольною мастикою два рази	2	1,1

Додаток Л

**КОЕФІЦІЄНТИ ПОГЛИНАННЯ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ  
МАТЕРІАЛОМ ЗОВНІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ  
ЗАХИСНОЇ КОНСТРУКЦІЇ**

Матеріал зовнішньої поверхні захисної конструкції	Коефіцієнт поглинання сонячної радіації $\rho$
1 Азбестоцементні листи	0,65
2 Бетони	0,7
3 Плитка облицювальна біла або палева	0,45
4 Штукатурка цементна світло-блакитна	0,3
5 Штукатурка цементна темно-зелена	0,6
6 Штукатурка цементна кремова	0,4

Додаток М  
**РОЗРАХУНКОВІ ПАРАМЕТРИ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ  
ТА ВІТРУ ДЛЯ МІСТ УКРАЇНИ**

Населений пункт		Географічна широта, °п.ш.	Інтенсивність сумарної сонячної радіації $I$ , Вт/м <sup>2</sup> , що надходить у липні на				Максимальна	Мінімальна
			горизонтальну		вертикальну		з середніх швидкостей вітру по румбах $v$ , м/с, повторюваність яких складає 16% та більше	
			поверхню					
			максимальна	мінімальна	максимальна	мінімальна	за січень	за липень
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<b>Вінниця</b>	49	863	328	770	186	4,7	2,8
1.1	Жмеринка	49	863	328	770	186	5,1	2,9
1.2	Могилів-Подільський	49	863	328	770	186	5,1	2,9
2	<b>Дніпропетровськ</b>	48,5	864	328	767	185	5,5	0
2.1	Кривий Ріг	48	866	328	764	184	6,2	4,5
2.2	Нікополь	47,5	870	328	764	184	4,9	3,5
3	<b>Донецьк</b>	48	866	328	764	184	6,2	0
3.1	Амвросіївка	47,5	870	328	764	184	5,7	0
3.2	Маріуполь	47	873	328	763	183	6,1	3,6
4	<b>Житомир</b>	50,5	857	329	777	188	5,4	0
4.1	Коростень	51	856	329	778	190	5,8	3,1
4.2	Новоград-Волинський	50,5	857	329	777	188	4,6	3,3
5	<b>Запоріжжя</b>	48	866	328	764	184	4,8	0
5.1	Бердянськ	48	866	328	764	14	-	-
5.2	Мелітополь	48	866	328	764	184	5,1	0
6	<b>Івано-Франківськ</b>	49	863	328	770	186	5,8	0
7	<b>КИЇВ</b>	50,5	857	329	777	188	4,3	0
8	<b>Кіровоград</b>	48,5	864	328	767	185	5,9	0
9	<b>Луганськ</b>	48,5	864	328	767	185	6,8	0
10	<b>Луцьк</b>	51	856	329	778	190	6,3	0
11	<b>Львів</b>	50	859	328	775	187	6,4	0
11.1	Дрогобич	49,5	861	328	772	186	6,2	0
12	<b>Миколаїв</b>	47	873	328	763	183	5,4	3,2
12.1	Первомайськ	48	866	328	764	184	5	0

## Продовження додатку М

1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	<b>Одеса</b>	46,5	876	329	762	183	8,5	3,3
13.1	Ізмаїл	45,5	883	329	760	182	6,2	0
13.2	Любашівка	48	866	328	764	184	—	—
14	<b>Полтава</b>	50	856	329	778	190	5,6	4,4
15	<b>Рівне</b>	50,5	857	329	777	188	7,5	0
15.1	Сарни	51,5	854	329	780	192	4	0
16	<b>Сімферополь</b>	45	887	330	759	181	6	0
16.1	Джанкой	45,5	883	329	760	182	—	—
16.2	Євпаторія	45	887	330	759	181	7,1	4
16.3	Керч	45,5	883	329	760	182	7,4	4,1
16.4	Севастополь	44,5	891	331	757	180	6,4	2,3
16.5	Судак	45	887	330	759	181	6,7	3,1
16.6	Феодосія	45	887	330	759	181	6	0
16.7	Ялта	44,5	891	331	757	180	4,4	0
17	<b>Суми</b>	51	856	329	778	190	5,9	0
18	<b>Тернопіль</b>	49,5	861	328	772	186	5,1	0
19	<b>Ужгород</b>	48,5	864	328	767	185	3,6	0
19.1	Берегове	48	866	328	764	184	3,8	0
19.2	Хуст	48	866	328	764	184	2,3	1,4
20	<b>Харків</b>	50	856	329	778	190	5	0
20.1	Ізюм	49	863	328	770	186	4	0
21	<b>Херсон</b>	46,5	876	329	762	183	6,2	0
21.1	Генічеськ	46	880	329	762	182	6,6	3,8
22	<b>Хмельницький</b>	49,5	861	328	772	186	5,7	0
22.1	Кам'янець-Подільський	48,5	864	328	767	185	5,4	0
23	<b>Черкаси</b>	49,5	861	328	772	186	—	—
23.1	Умань	48,5	864	328	767	185	5,4	0
24	<b>Чернігів</b>	51,5	854	329	780	192	4,2	0
24.1	Прилуки	50,5	857	329	777	188	5,2	0
25	<b>Чернівці</b>	48	866	328	764	184	5,4	0

Примітка до додатку М: Якщо у таблиці для області наведені кліматичні параметри тільки для обласного центру (обласні центри виділені жирним шрифтом), то ці параметри потрібно приймати для усієї області. Якщо для області наведено декілька пунктів з різними значеннями кліматичних параметрів, то у випадку відсутності у таблиці даних для району будівництва значення кліматичних параметрів слід приймати рівними значенням кліматичних параметрів найближчого до нього пункту, наведеного у таблиці та розташованого у місцевості з аналогічними умовами.

Додаток И

Таблиця И.1 - МЕЖІ ДОПУСТИМИХ ПРИРОСТІВ РОЗРАХУНКОВОГО  
МАСОВОГО ВІДНОШЕННЯ ВОЛОГИ У МАТЕРІАЛАХ

Матеріал	Межа допустимого приросту $\Delta W_{\text{сер}}, \%$
1 Кладка з глиняної цегли чи керамічних блоків	1,5
2 Кладка з силікатної цегли	2,0
3 Легкі бетони на пористих заповнювачах (керамзитобетон, перлітобетон, пемзобетон, ін.)	5,0
4 Ніздрюваті бетони (газобетон, пінобетон, газосилікат і т.ін.)	6,0
5 Піногазоскло	1,5
6 Фіброліт цементний	7,5
7 Мінераловатні плити та мати	3,0
8 Пінополістирол	25,0
9 Теплоізоляційні засипки з керамзиту, шунгизиту, шлаку	3,0
10 Важкі бетони	2,0

Додаток К

Таблиця К.1 - ЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ПРУЖНОСТІ ВОДЯНОЇ ПАРИ  $E$ , Па, ДЛЯ РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУР ПРИ НОРМАЛЬНОМУ АТМОСФЕРНОМУ ТИСКУ ( $B = 101325$  Па)

Ціла частина $t$ , °С	Дробова частина $t$ , °С									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
34	5320	5349	5378	5409	5440	5469	5500	5530	5561	5592
33	5030	5058	5088	5116	5144	5173	5202	5232	5261	5290
32	4754	4782	4808	4836	4864	4890	4919	4946	4974	5002
31	4493	4518	4544	4570	4596	4622	4648	4673	4701	4728
30	4242	4268	4292	4317	4341	4366	4390	4416	4441	4466
28	3780	3801	3824	3846	3869	3890	3913	3936	3960	3982
27	3565	3586	3608	3628	3649	3672	3693	3714	3736	3758
26	3361	3381	3401	3421	3441	3461	3482	3502	3523	3544
25	3168	3186	3205	3224	3244	3263	3283	3301	3321	3341
24	2984	3001	3020	3033	3056	3074	3093	3112	3130	3149
23	2809	2826	2842	2860	2877	2894	2913	2930	2948	2965
22	2644	2660	2676	2692	2709	2725	2742	2758	2776	2792
21	2486	2502	2517	2533	2548	2564	2580	2596	2612	2628
20	2338	2352	2366	2381	2395	2410	2426	2441	2456	2472
19	2197	2210	2224	2238	2252	2266	2280	2294	2309	2324
18	2064	2076	2089	2102	2116	2129	2142	2156	2169	2182
17	1937	1949	1961	1974	1986	2000	2013	2025	2037	2050
16	1817	1829	1841	1853	1865	1877	1889	1901	1913	1925
15	1705	1716	1727	1739	1749	1760	1772	1783	1796	1806
14	1598	1608	1619	1629	1640	1651	1661	1672	1683	1694
13	1497	1507	1517	1527	1537	1547	1557	1567	1577	1588
12	1403	1412	1421	1431	1440	1449	1459	1468	1477	1487
11	1312	1321	1330	1339	1348	1357	1366	1375	1384	1393
10	1228	1236	1244	1252	1261	1269	1277	1286	1295	1304

## Продовження таблиці К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9	1148	1156	1164	1172	1179	1187	1195	1203	1212	1220
8	1072	1080	1087	1093	1102	1109	1117	1125	1132	1140
7	1001	1008	1016	1023	1030	1037	1044	1051	1058	1065
6	935	941	948	955	961	968	975	981	988	995
5	872	879	885	891	987	903	909	916	922	928
4	813	819	825	831	836	842	848	854	860	866
3	757	762	768	774	780	785	791	796	802	808
2	705	710	716	721	727	732	737	742	747	752
1	657	661	666	671	676	681	685	690	695	700
0	611	615	620	624	628	633	637	642	647	652
-0	611	606	601	596	591	586	581	576	572	567
-1	562	557	553	548	544	539	535	530	525	521
-2	517	513	508	504	500	496	492	488	484	480
-3	476	472	468	464	460	456	452	448	444	440
-4	437	433	429	425	422	419	415	412	408	404
-5	401	397	394	391	388	384	381	378	375	371
-6	368	365	361	358	355	352	349	346	343	340
-7	337	334	332	329	326	323	320	317	314	311
-8	309	307	304	301	299	296	293	291	288	285
-9	283	281	279	276	273	271	269	267	264	262
-10	260	257	255	252	250	248	245	243	241	239
-11	237	235	233	231	229	227	225	223	221	219
-12	217	215	213	211	209	207	205	203	201	199
-13	198	196	195	193	191	189	187	185	184	182
-14	181	179	177	176	175	173	171	169	168	166
-15	165	164	163	161	159	157	156	154	153	152
-16	151	149	148	147	145	144	142	141	140	139
-17	137	136	135	133	132	131	130	129	127	125
-18	124	123	122	121	120	119	117	116	115	114
-19	113	112	111	110	109	108	107	105	104	103

Приклад:  $t = -16,8^{\circ}\text{C}$  . Отримуємо  $E = 140$  Па.

## Додаток Л

Таблиця Л.1 - ОПІР ПАРПРОНИКНЕННЮ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ І ТОНКИХ ШАРІВ ПАРІЗОЛЯЦІЇ

Матеріал	Товщина шару, мм	Опір паропроникненню, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$
1 Листи азбестоцементні	6	0,3
2 Листи гіпсові обшивні (суха штукатурка)	10	0,12
3 Фарбування гарячим бітумом один раз	2	0,3
4 Фарбування гарячим бітумом два рази	4	0,48
5 Фарбування оліфою два рази з попереднім шпаклюванням та ґрунтуванням	-	0,64
6 Фарбування емалевою фарбою	-	0,48
7 Покриття ізольною мастикою один раз	2	0,6
8 Покриття бітумно-кукерсольною мастикою	1	0,64
9 Покриття бітумно-кукерсольною мастикою два рази	2	1,1

Додаток М

Таблиця М.1 - РОЗРАХУНКОВІ ПАРАМЕТРИ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ ТА ВІТРУ ДЛЯ МІСТ УКРАЇНИ

Населений пункт		Географічна широта, °п.ш.	Інтенсивність сумарної сонячної радіації $I$ , Вт/м <sup>2</sup> , що надходить у липні на				Максимальна	Мінімальна
			горизонтальну		вертикальну		з середніх швидкостей вітру по румбах $v$ , м/с, повторюваність яких складає 16% та більше	
			поверхню					
			максимальна	мінімальна	максимальна	мінімальна	за січень	за липень
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<b>Вінниця</b>	49	863	328	770	186	4,7	2,8
1.1	Жмеринка	49	863	328	770	186	5,1	2,9
1.2	Могилів-Подільський	49	863	328	770	186	5,1	2,9
2	<b>Дніпропетровськ</b>	48,5	864	328	767	185	5,5	0
2.1	Кривий Ріг	48	866	328	764	184	6,2	4,5
2.2	Нікополь	47,5	870	328	764	184	4,9	3,5
3	<b>Донецьк</b>	48	866	328	764	184	6,2	0
3.1	Амвросіївка	47,5	870	328	764	184	5,7	0
3.2	Маріуполь	47	873	328	763	183	6,1	3,6
4	<b>Житомир</b>	50,5	857	329	777	188	5,4	0
4.1	Коростень	51	856	329	778	190	5,8	3,1
4.2	Новоград-Волинський	50,5	857	329	777	188	4,6	3,3
5	<b>Запоріжжя</b>	48	866	328	764	184	4,8	0
5.1	Бердянськ	48	866	328	764	14	-	-
5.2	Мелітополь	48	866	328	764	184	5,1	0
6	<b>Івано-Франківськ</b>	49	863	328	770	186	5,8	0
7	<b>КИЇВ</b>	50,5	857	329	777	188	4,3	0
8	<b>Кіровоград</b>	48,5	864	328	767	185	5,9	0
9	<b>Луганськ</b>	48,5	864	328	767	185	6,8	0
10	<b>Луцьк</b>	51	856	329	778	190	6,3	0
11	<b>Львів</b>	50	859	328	775	187	6,4	0
11.1	Дрогобич	49,5	861	328	772	186	6,2	0
12	<b>Миколаїв</b>	47	873	328	763	183	5,4	3,2
12.1	Первомайськ	48	866	328	764	184	5	0



Продовження таблиці М.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	<b>Одеса</b>	46,5	876	329	762	183	8,5	3,3
13.1	Ізмаїл	45,5	883	329	760	182	6,2	0
13.2	Любашівка	48	866	328	764	184	—	—
14	<b>Полтава</b>	50	856	329	778	190	5,6	4,4
15	<b>Рівне</b>	50,5	857	329	777	188	7,5	0
15.1	Сарни	51,5	854	329	780	192	4	0
16	<b>Сімферополь</b>	45	887	330	759	181	6	0
16.1	Джанкой	45,5	883	329	760	182	—	—
16.2	Євпаторія	45	887	330	759	181	7,1	4
16.3	Керч	45,5	883	329	760	182	7,4	4,1
16.4	Севастополь	44,5	891	331	757	180	6,4	2,3
16.5	Судак	45	887	330	759	181	6,7	3,1
16.6	Феодосія	45	887	330	759	181	6	0
16.7	Ялта	44,5	891	331	757	180	4,4	0
17	<b>Суми</b>	51	856	329	778	190	5,9	0
18	<b>Тернопіль</b>	49,5	861	328	772	186	5,1	0
19	<b>Ужгород</b>	48,5	864	328	767	185	3,6	0
19.1	Берегове	48	866	328	764	184	3,8	0
19.2	Хуст	48	866	328	764	184	2,3	1,4
20	<b>Харків</b>	50	856	329	778	190	5	0
20.1	Ізюм	49	863	328	770	186	4	0
21	<b>Херсон</b>	46,5	876	329	762	183	6,2	0
21.1	Генічеськ	46	880	329	762	182	6,6	3,8
22	<b>Хмельницький</b>	49,5	861	328	772	186	5,7	0
22.1	Кам'янець-Подільський	48,5	864	328	767	185	5,4	0
23	<b>Черкаси</b>	49,5	861	328	772	186	—	—
23.1	Умань	48,5	864	328	767	185	5,4	0
24	<b>Чернігів</b>	51,5	854	329	780	192	4,2	0
24.1	Прилуки	50,5	857	329	777	188	5,2	0
25	<b>Чернівці</b>	48	866	328	764	184	5,4	0

Примітка: Якщо у таблиці для області наведені кліматичні параметри тільки для обласного центру (обласні центри виділені жирним шрифтом), то ці параметри потрібно приймати для усієї області. Якщо для області наведено декілька пунктів з різними значеннями кліматичних параметрів, то у випадку відсутності у таблиці даних для району будівництва значення кліматичних параметрів слід приймати рівними значенням кліматичних параметрів найближчого до нього пункту, наведеного у таблиці та розташованого у місцевості з аналогічними умовами.