

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу

Галущак М.О.
Депутат Б.Я.

БУДІВЕЛЬНА ФІЗИКА

ПРАКТИЧНІ
ЗАНЯТТЯ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу

М.О. Галушак, Б.Я. Депутат

БУДІВЕЛЬНА ФІЗИКА

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Івано-Франківськ
2017

УДК 697+699.8+535+628.9 (075.8)

Г-16

Рецензенти:

З. В. Лукомська, професор кафедри архітектурного проектування, кандидат архітектури, член національної спілки архітекторів України;

І. Я. Петрик, доцент кафедри прикладної механіки, кандидат технічних наук.

*Рекомендовано Вченою радою університету
(протокол № 02/572 від 27.02.2017 року)*

М.О. Галушак, Б.Я. Депутат

Г-16 Будівельна фізика: Практичні заняття: навчальний посібник – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. – 92 с.

Посібник складений відповідно до навчальної програми дисципліни «Будівельна фізика» для вищих технічних закладів освіти. Матеріал курсу розподілений по окремих темах. До кожної теми подаються короткі теоретичні відомості, основні закони і формули, підібрано приклади розв'язування задач і задачі для розв'язання в аудиторії та вдома. У посібнику є методичні вказівки та поради, в яких обговорюються особливості задач кожної теми і даються загальні підходи до їх розв'язання, а також сформовано варіанти задач для проведення контрольних робіт.

Для студентів спеціальності 6.060102 – Архітектура.

© Галушак М.О.,
Депутат Б.Я.
© ІФНТУНГ, 2017

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	4
1. ОСНОВНІ ФІЗИЧНІ ЗАКОНИ В АРХІТЕКТУРНІЙ ФІЗИЦІ.....	5
1.1. Основні газові закони.....	5
1.2. Термодинамічні характеристики та закономірності в газах.....	7
1.3. Явища переносу в речовині	9
1.4. Приклади розв'язування задач.	10
1.5. Завдання для самостійного розв'язання.	20
2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ БУДИНКІВ ЗА ТЕПЛОТЕХНІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ.....	22
2.1. Методичні рекомендації до виконання теплотехнічного розрахунку огорожувальної конструкції.....	22
2.2. Теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій.....	28
2.3. Розрахунок огорожувальних конструкцій на атмосферостійкість.....	43
2.4. Розрахунок огорожувальних конструкцій на проникнення пари.....	46
2.5. Завдання для самостійної роботи.....	57
3. ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ.....	68
4. ДОДАТКИ	73
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	92

ПЕРЕДМОВА

При проектуванні будинків необхідно добре розуміти і враховувати теплотехнічні процеси, що відбуваються в конструкціях і в приміщеннях. зовнішньою захисною конструкцією є стіна, яка розділяє внутрішній і зовнішній простір з різною температурою і вологістю і перпендикулярна до теплового потоку.

Для створення комфортних умов в будівлях до зовнішніх і до огорожувальних конструкції пред'являються теплотехнічні вимоги:

- забезпечення достатніх теплозахисних властивостей в холодну частину року;
- забезпечення теплотривкості в теплий період;
- забезпечення необхідної повітропроникності та допустимої паропроникності;
- отримання необхідного температурно-вологісного режиму в приміщеннях;
- температура внутрішньої поверхні огорожі повинна майже не відрізнятися від температури внутрішнього повітря, щоб уникнути випадання конденсату.

Мета практичних занять – вивчення законів перенесення теплоти, вологи і повітря шляхом проведення теплотехнічного розрахунку зовнішніх вертикальних стін і горизонтальних конструкцій покриття.

У методичних рекомендаціях дається методика розрахунку згідно з вимогами нормативних матеріалів щодо того чи іншого розділу, потім розглядаються обов'язкові приклади розрахунків, а також наводяться додаткові контрольні приклади конструктивних рішень будівель іншого призначення – цивільних або промислових.

1. ОСНОВНІ ФІЗИЧНІ ЗАКОНИ В АРХІТЕКТУРНІЙ ФІЗИЦІ

Фізичні основи процесів що відбуваються в огорожувальних конструкціях і в приповерхневих зонах. Приклади розв'язування задач окремих тем молекулярної фізики та термодинаміки.

Розділ фізики, що вивчає залежність будови і фізичних властивостей тіл від характеру руху і взаємодії між частинками, з яких складаються тіла, називаються *молекулярною фізикою*.

1.1. Основні газові закони

Ідеальним називають такий газ, для якого можна знехтувати розмірами молекул та силами молекулярної взаємодії. Молекули в такому газі співударяються за законом співударяння пружних куль. Реальні гази поводять себе як ідеальний тоді, коли середня відстань між молекулами у багато разів перевищує їхні розміри, тобто коли розрідження досить велике. Газ може бути в різних станах, тобто деяка маса газу має об'єм V , тиск P і температуру T . Величини V , P , T , що характеризують стан газу, називаються термодинамічними параметрами.

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

де P , V , T - відповідно тиск, об'єм та температура газу;
 m - його маса; μ - молекулярна маса; R - універсальна газова стала.

Густина газу

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{P\mu}{RT}$$

Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії

$$p = nkT$$

де n - число частинок в одиниці об'єму; k - стала Больцмана.

Тиск суміші газів (закон Дальтона) - тиск суміші газів дорівнює сумі парціальних тисків складових газів.

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_i$$

де P_i - тиск i -ої компоненти газової суміші,

$$P_i = \frac{m_i RT}{\mu_i V}$$

Парціальний тиск – це тиск який чинив би газ, якби займав весь об'єм суміші при тій самій температурі без інших газів.

Молярна маса суміші газів

$$\mu = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_i}{\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} + \dots + \frac{m_i}{\mu_i}}$$

де m_i , μ_i - маса і молекулярна маса i -ої компоненти газової суміші.

Газові закони: (m=const)

Процеси, що відбуваються при сталому значенні одного з параметрів стану (T , V або P) з певною сталою масою газу, називаються *ізопроцесами*.

$PV = \text{const}$ - закон Бойля-Маріотта

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ - закон Шарля}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \text{const} \text{ - закон Гей-Люссака}$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \text{const} \text{ - об'єднаний газовий закон.}$$

Барометрична формула

Барометрична формула визначає залежність тиску або густину газу від висоти в полі тяжіння.

$$P = P_0 \exp(-\mu gh / RT),$$

де P_0 - тиск на висоті $h = 0$.

Середня швидкість молекул (середня арифметична)

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}};$$

Найімовірніша швидкість молекул (середня арифметична)

$$\langle v_{im} \rangle = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}};$$

Середньоквадратична швидкість

$$\langle v_{kv} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}.$$

Середня довжина вільного пробігу

Середній шлях між двома послідовними співударами молекули називається *середньою довжиною вільного пробігу*

$$\langle \lambda \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle Z \rangle} = \frac{1}{\sqrt{2} \langle v \rangle \pi \sigma^2 n},$$

де $\langle Z \rangle$ - середнє число зіткнень однієї молекули за одиницю часу,

$$\langle Z \rangle = \sqrt{2} \langle v \rangle \pi \sigma^2 n;$$

σ - *ефективний діаметр молекули* - мінімальна відстань, на яку наближаються при співударі центри двох молекул.

1.2. Термодинамічні характеристики та закономірності в газах

Термодинаміка – розділ фізики, який вивчає найзагальніші закономірності процесів у макроскопічних системах, що

знаходяться в стані термодинамічної рівноваги і процесів переходу між такими станами.

Термодинамічна система – це сукупність мікроскопічних тіл, які взаємодіють і обмінюються енергією між собою і навколишнім середовищем.

Термодинамічним процесом називається перехід системи з початкового стану в кінцевий через послідовність проміжних станів. Процеси бувають *оборотні* і *необоротні*. Оборотним називається процес, при якому можна здійснити оборотний перехід системи з кінцевого стану в початковий через ті ж самі проміжні стани, щоб у навколишніх тілах не сталося жодних змін. Оборотний процес – це фізична абстракція.

Необоротний процес супроводжується тертям або теплопередаванням від нагрітого тіла до холодного.

Термодинамічні параметри – параметри стану – сукупність фізичних величин, що характеризують властивості і стан термодинамічної системи. Такими параметрами є температура T , об'єм V , тиск P . Стан системи, у якому вона може перебувати досить довго (параметри стану у часі є незмінними), називається термодинамічною рівновагою

Повна кінетична енергія молекули, яка враховує і обертальний рух молекули, визначається:

$$E_i = \frac{i}{2} kT,$$

де i – кількість ступенів вільності молекули, k – стала Больцмана, n - число частинок в одиниці об'єму.

Числом ступенів вільності i називають найменше число координат, які необхідно задати для того, щоб повністю визначити положення тіла у просторі, або кількість незалежних рухів, які може виконувати тіло. Для одноатомного газу $i = 3$, двохатомного $i = 5$, три і більше атомів у молекулі газу $i = 6$.

Внутрішня енергія ідеального газу

Внутрішня енергія – це сума енергій молекулярних взаємодій і енергії теплового руху молекул.

$$U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT$$

де i - число ступенів вільності

Теплоємність

Теплоємністю тіла називають відношення кількості теплоти, потрібної для підвищення його температури на 1°C :

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

Молярні та питомі теплоємності ідеального газу

$$C = \mu c$$

$$C_v = \frac{i}{2} R$$

$$C_p = C_v + R = \frac{i+2}{2} R$$

1.3. Явища переносу в речовині

Потоком будь-якої фізичної величини (маси, енергії, імпульсу) називається кількість цієї величини, що проходить в одиницю часу через деяку уявну поверхню. Потік – скалярна величина, знак якої обирається довільно (наприклад, для замкнутих поверхонь потік, що витікає назовні, додатний).

Дифузія (перенесення частинок або маси) – обумовлене тепловим рухом вирівнювання концентрацій у суміші декількох речовин – описується законом Фіка:

$$M = -D \frac{d\rho}{dz} St$$

$$D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle \lambda \rangle$$

- коефіцієнт дифузії ($\text{м}^2 / \text{с}$);

Внутрішнє тертя, що виникає між шарами рідини або газу, характеризується законом Ньютона:

$$F = -\eta \frac{dv}{dz} S$$

$$\eta = \frac{1}{3} < v > < \lambda > \rho$$

- динамічна в'язкість (Па·с);

Теплообмін – зміна внутрішньої енергії за рахунок передавання її від одного тіла до іншого без виконання роботи.

Виконання механічної роботи:

1. При деформації тіла нагріваються.

2. Нагрівання тіл, яке зумовлено виконанням роботи проти сил тертя.

Теплопередача між тілами можлива за рахунок теплопровідності, конвекції, випромінювання.

Конвекція – перенесення енергії потоками рідини або газів.

Випромінювання – перенесення енергії електромагнітними хвилями, видимим світлом, інфрачервоним випромінюванням.

Теплопровідність – обмін енергією між тілами, що перебувають у безпосередньому контакті – описується законом Фур'є:

$$Q = -\lambda \frac{dT}{dz} St$$

$$\lambda = \frac{1}{3} c_v < v > < \lambda > \rho$$

- теплопровідність (Вт/м·°С):,

де c_v - питома теплоємність газу при сталому об'ємі,

$\frac{dT}{dz}$ - градієнт температури, S – площа, t – час.

1.4. Приклади розв'язування задач.

Приклад 1.

В закритій посудині знаходиться газ, молярна маса якого $\mu=32$ кг/кмоль, тиск $P=10^7$ Па. Визначити густину ρ цього газу,

концентрацію молекул n_0 , якщо при нагріванні посудини з газом до температури $T = 1000 \text{ К}$ тиск зростає до $P_1 = 2 \cdot 10^7 \text{ Па}$.

Розв'язування. З рівняння стану ідеального газу

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

знаходимо, що густина газу

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{P\mu}{RT}.$$

Нагріваючи газ ізохорно ($V = \text{const}$), між тиском P і P_1 і температурами T і $T + \Delta T$ встановлюємо наступну залежність (закон Шарля):

$$\frac{P}{P_1} = \frac{T}{T + \Delta T}.$$

звідки

$$T = \frac{p\Delta T}{p_1 - p}$$

Тепер, маємо

$$\rho = \frac{p\mu(p_1 - p)}{Rp\Delta T} = \frac{\mu(p_1 - p)}{R\Delta T}.$$

З основного рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу

$$p = \frac{2}{3} n_0 \bar{\epsilon}_k = n_0 kT$$

знаходимо

$$p = n_0 kT \Rightarrow n_0 = \frac{p}{kT} = \frac{p(p_1 - p)}{kp\Delta T} = \frac{p_1 - p}{k\Delta T}$$

де k - стала Больцмана.

Підставляємо числові значення величин і знаходимо

$$\rho = \frac{32 \cdot 10^{-3} (2 \cdot 10^7 - 10^7)}{1,31 \cdot 10^2} = 3,85 \cdot 10^2 \text{ кг / м}^3$$

$$n_0 = \frac{2 \cdot 10^7 - 10^7}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 10^2} = 0,72 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}.$$

Відповідь: $\rho = 3,85 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3$, $n_0 = 0,72 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.

Приклад 2.

У балоні міститься кисень $m_1 = 80 \text{ г}$ і аргон $m_2 = 320 \text{ г}$. Тиск суміші $P = 1 \text{ МПа}$, температура $T = 300 \text{ К}$. Вважаючи дані гази за ідеальні, визначити об'єм V балона.

Розв'язування. Згідно із законом Дальтона тиск суміші дорівнює сумі парціальних тисків газів, що входять до складу суміші.

За рівнянням Менделєєва-Клапейрона парціальний тиск кисню P_1 і аргону P_2 виражаються формулами:

$$P_1 V = \frac{m_1}{\mu_1} RT$$

та

$$P_2 V = \frac{m_2}{\mu_2} RT$$

Отже, за законом Дальтона тиск суміші газів:

$$P = P_1 + P_2 = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right) \frac{RT}{V}$$

Звідки об'єм балона:

$$V = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right) \frac{RT}{P}$$

Підставляємо числові значення величин і знаходимо

$$V = \left(\frac{0,08}{0,032} + \frac{0,32}{0,04} \right) \frac{8,31 \cdot 300}{10^6} = 0,026 \text{ м}^3$$

Відповідь: $V = 0,026 \text{ м}^3$.

Приклад 3.

На якій висоті h густина повітря вдвічі менша, ніж його густина на рівні моря? Температуру газу вважати сталою і рівною $t=0^\circ \text{C}$. Молярна маса повітря $\mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

Розв'язування. У барометричній формулі

$$P = P_0 \exp\left(-\frac{\mu gh}{RT}\right)$$

тиск виразимо через густину $\rho = m/V$ газу скориставшись рівнянням Менделєєва-Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT, \quad p = \frac{\rho}{\mu} RT.$$

Одержаний вираз для тиску підставимо у барометричну формулу:

$$\frac{\rho}{\mu} RT = \frac{\rho_0}{\mu} RT \exp\left(-\frac{\mu gh}{RT}\right),$$

і після скорочення маємо формулу для залежності густини газу від висоти:

$$\rho = \rho_0 \exp\left(-\frac{\mu gh}{RT}\right).$$

Оскільки за умовою $\rho = \rho_0/2$, маємо:

$$\exp\left(-\frac{\mu gh}{RT}\right) = \frac{1}{2}.$$

Звідки:

$$-\frac{\mu gh}{RT} = \ln\left(\frac{1}{2}\right),$$

або

$$h = -\frac{RT}{\mu g} \ln\left(\frac{1}{2}\right).$$

Тоді, для повітря ($\mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$):

$$h = -\frac{RT}{\mu g} \ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\frac{8,31 \cdot 273}{29 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81} \ln\left(\frac{1}{2}\right) = 5527 \text{ м},$$

Відповідь: $h = 5527 \text{ м}$.

Приклад 4.

Знайти питому теплоємність кисню c для а) $V=\text{const}$; б) $p=\text{const}$.

Молярна маса кисню $\mu = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

Розв'язування. Питома теплоємність – це кількість тепла, яку потрібно передати одному кілограму речовини, щоб збільшити її температуру на один градус. Питома теплоємність пов'язана з молярною теплоємністю виразом $c = C/\mu$. При сталому об'ємі і сталому тиску цю формулу можна записати відповідно як

$$c_v = \frac{C_v}{\mu}, \quad c_p = \frac{C_p}{\mu}.$$

Оскільки кисень – двоатомний газ, то кількість ступенів вільності $i=5$. Молярні теплоємності дорівнюють:

$$C_v = \frac{i}{2} R,$$

$$C_p = C_v + R = \left(\frac{i}{2} + 1\right) R.$$

Тоді

$$c_v = \frac{iR}{2\mu} = \frac{5 \cdot 8,31}{2 \cdot 32 \cdot 10^{-3}} \approx 650 \text{ Дж/(кг К)}$$

$$c_p = \frac{(i+2)R}{2\mu} = \frac{(5+2) \cdot 8,31}{2 \cdot 32 \cdot 10^{-3}} \approx 910 \text{ Дж/(кг К)}$$

Відповідь: $c_v \approx 650 \text{ Дж/(кг К)}$, $c_p \approx 910 \text{ Дж/(кг К)}$.

Приклад 5.

Для молекул повітря, діаметр яких вважати рівним $\sigma = 0,3 \text{ нм}$, за нормальних умов ($T_0 = 273 \text{ К}$, а тиск $P_0 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$) визначити: 1) середню довжину $\langle \lambda \rangle$ вільного пробігу молекул; 2)

середню кількість зіткнень за 1 секунду $\langle Z \rangle$; 3) середній час τ між двома послідовними зіткненнями.

Розв'язування. Середня довжина вільного пробігу молекул згідно з

$$\langle \lambda \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle Z \rangle} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 n}$$

Необхідну для визначення концентрацію знайдемо з основного рівняння молекулярно-кінетичної теорії $P = nkT$, враховуючи, що за нормальних умов температура складає $T = 273$ К, а тиск $P = 1,01 \cdot 10^5$ Па.

Тоді

$$\langle \lambda \rangle = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 p}$$

$$\langle \lambda \rangle = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 273}{\sqrt{2} \cdot 3,14 \cdot (0,3 \cdot 10^{-9})^2 \cdot 1,01 \cdot 10^5} = 9,33 \cdot 10^8 \text{ м}$$

Середня кількість зіткнень за 1 секунду визначається виразом

$$\langle Z \rangle = \sqrt{2} \langle v \rangle \pi \sigma^2 n,$$

де середня арифметична швидкість становить

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}$$

Отже

$$\langle Z \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle \lambda \rangle} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}} \frac{1}{\langle \lambda \rangle}$$

$$\langle Z \rangle = \sqrt{\frac{8 \cdot 8,31 \cdot 273}{3,14 \cdot 29 \cdot 10^{-3}}} \frac{1}{9,33 \cdot 10^8} = 4,8 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$$

Середній час між зіткненнями

$$\tau = \frac{1}{\langle Z \rangle} = \frac{1}{4,8 \cdot 10^9} = 2,08 \cdot 10^{-10} \text{ с}$$

Відповідь: $\langle \lambda \rangle = 9,33 \cdot 10^8 \text{ м}$, $\langle Z \rangle = 4,8 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$, $\tau = 2,08 \cdot 10^{-10} \text{ с}$.

Приклад 6.

Кисень масою $m = 2 \text{ кг}$ займає об'єм $V_1 = 1 \text{ м}^3$ та знаходиться під тиском $p_1 = 0.2 \text{ МПа}$. Газ нагрівають спочатку при сталому тиску, при цьому об'єм стає $V_2 = 3 \text{ м}^3$, а потім при сталому об'ємі до тиску $p_2 = 0.5 \text{ МПа}$. Знайти зміну внутрішньої енергії газу ΔU , виконану газом роботу A і кількість теплоти, яку отримав газ Q .

Розв'язування. Зміна внутрішньої енергії знаходиться за формулою

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{mR}{\mu} \Delta T,$$

де i - число ступенів свободи молекули (для молекули кисню O_2 $i = 5$),

$R = 8.31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ - універсальна газова стала, μ - молярна маса,

$\Delta T = T_3 - T_1$ - різниця температур у кінцевому і початковому станах.

Температуру газу можна знайти з рівняння Менделєєва-Клапейрона

$$PV = \frac{m}{\mu} RT,$$

де P - тиск газу, V - об'єм газу, T - абсолютна температура газу.

Звідси

$$T = \frac{PV\mu}{mR}.$$

Отже

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{mR}{\mu} \left(\frac{P_3 V_3 \mu}{mR} - \frac{P_1 V_1 \mu}{mR} \right) = \frac{i}{2} (P_3 V_3 - P_1 V_1).$$

Підставивши значення

$$\Delta U = \frac{5}{2} (5 \cdot 10^5 \cdot 3 - 2 \cdot 10^5 \cdot 1) = 3,25 \cdot 10^6 \text{ (Дж)}.$$

Робота газу при ізобаричному процесі знаходиться за формулою

$$A_1 = P\Delta V = P_1(V_2 - V_1).$$

Робота газу при сталому об'ємі не виконується $A_2 = 0$. Отже, загальна робота дорівнює

$$A = A_1 + A_2 = A_1 = P_1(V_2 - V_1).$$

Підставивши значення

$$A = 2 \cdot 10^5 \cdot (3 - 1) = 4 \cdot 10^5 \text{ (Дж)}.$$

Кількість теплоти знайдемо з першого початку термодинаміки

$$Q = \Delta U + A = 3.65 \cdot 10^6 \text{ (Дж)}.$$

Відповідь: $\Delta U = 3,25 \text{ МДж}$, $A = 0,4 \text{ МДж}$, $Q = 3,65 \text{ МДж}$.

Приклад 7.

Обчислити коефіцієнт дифузії D і коефіцієнт внутрішнього тертя η кисню, що знаходиться при тиску $P = 0,2 \text{ МПа}$ і температурі $T = 280 \text{ К}$. Ефективний діаметр кисню і молярна маса відповідно рівні $\sigma = 0,36 \text{ нм}$, $\mu = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

Розв'язування. Коефіцієнт дифузії і коефіцієнт внутрішнього тертя ідеального газу визначаються за формулами:

$$D = \frac{1}{3} \langle \lambda \rangle \langle v \rangle,$$

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \langle \lambda \rangle \langle v \rangle = \rho D,$$

де ρ - густина газу; $\langle \lambda \rangle$ - середня довжина вільного пробігу молекул; $\langle v \rangle$ - середня арифметична швидкість молекул.

Середню арифметичну швидкість і середню довжину вільного пробігу молекул знаходимо за формулами:

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$$

$$\langle \lambda \rangle = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 p}$$

Тоді

$$D = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \frac{kT}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 p}$$

$$D = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{8,31 \cdot 280}{3,14 \cdot 0,032}} \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 280}{\sqrt{2} \cdot 3,14 \cdot (0,36 \cdot 10^{-10})^2 \cdot 2 \cdot 10^5} \approx 7,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$$

Густина кисню визначається за формулою:

$$\rho = \frac{\mu}{N_A} \frac{P}{kT}$$

Оскільки $R = kN_A$

Тоді

$$\eta = \frac{\mu P}{RT} D$$

Підставивши значення

$$\eta = \frac{0,032}{8,31} \cdot \frac{2 \cdot 10^5}{280} 7,4 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Питома теплоємність кисню c_V

$$c_V = \frac{i}{2\mu} R$$

Коефіцієнт теплопровідності λ визначається за формулою:

$$\lambda = c_V \eta = \frac{i}{2\mu} R \eta$$

Підставивши числові значення:

$$\lambda = \frac{5}{2 \cdot 0,032} 8,31 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 13 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} / \text{К} \cdot \text{м}$$

Відповідь: $D \approx 7,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$, $\eta = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$, $\lambda = 13 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} / \text{К} \cdot \text{м}$

Приклад 8.

Простір між двома паралельними скляними пластинами площею S рівною 150 см^2 кожна, відстань між пластинами Δz 5 мм, заповнений киснем. Температура однієї пластини t_1 становить 17°C іншої t_2 становить 27°C . Визначити кількість теплоти, яка в наслідок теплопровідності передається від однієї до іншої

пластини за 5 хвилин. Повітря знаходиться в нормальних умовах ($T_0 = 273 \text{ К}$, а тиск $P_0 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Ефективний діаметр молекул кисню і молярна маса відповідно рівні $\sigma = 0,36 \text{ нм}$, $\mu = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

Розв'язування. Теплопередача між тілами можлива за рахунок теплопровідності, конвекції, випромінювання. Теплопровідність – процес перенесення теплової енергії – описується законом Фур'є:

$$Q = -\lambda \frac{dT}{dz} St$$

$$\lambda = \frac{1}{3} c_v \langle v \rangle \langle \lambda \rangle \rho$$

- теплопровідність ($\text{Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$):,

$$c_v = \frac{i}{2\mu} R$$

- питома теплоємність газу при сталому об'ємі,

$$\frac{dT}{dz} = \frac{t_2 - t_1}{\Delta z} \text{ - градієнт температури, } S \text{ – площа, } t \text{ – час.}$$

Враховуючи, що густина повітря між пластинами:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{P_0 \mu}{RT_0},$$

Середня довжина вільного пробігу молекул повітря:

$$\langle \lambda \rangle = \frac{kT_0}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 P_0}$$

Середня арифметична швидкість молекул становить:

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}$$

Перетворивши вищевказані вирази та підставивши їх у закон Фур'є, отримаємо:

$$Q = \frac{i}{3} \frac{k}{\pi \sigma^2} \sqrt{\frac{RT}{\pi \mu}} \frac{t_2 - t_1}{\Delta z} St$$

Підставивши числові значення:

$$Q = \frac{5}{3} \frac{1,38 \cdot 10^{-23}}{3,14 \cdot (0,36 \cdot 10^{-10})^2} \sqrt{\frac{8,31 \cdot 273}{3,14 \cdot 0,032}} \frac{27-17}{0,005} \cdot 150 \cdot 300 = 76,4 \text{ Дж}$$

Відповідь: $Q = 76,4 \text{ Дж}$.

1.5. Завдання для самостійного розв'язання.

1. Знайти масу m повітря в аудиторії висотою $h=5 \text{ м}$ і площею підлоги $S=200 \text{ м}^2$, Тиск повітря $P=100 \text{ кПа}$, температура в приміщенні $t=17 \text{ С}$. Молярна маса повітря $\mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

Відповідь: $m = 1203 \text{ кг}$.

2. У скільки разів густина ρ_1 повітря в приміщенні взимку ($t_1=7^\circ \text{ С}$) більша за його густину ρ_2 влітку ($t_2=37^\circ \text{ С}$)? Тиск газу вважати сталим. Відповідь: $\rho_1/\rho_2=1,1$.

3. У закритому балоні об'ємом $V=1 \text{ м}^3$ знаходиться маса $m_1=1,6 \text{ кг}$ кисню і маса $m_2=0,9 \text{ кг}$ води. Знайти тиск p у балоні при температурі $t=500^\circ \text{ С}$ знаючи, що при цій температурі вся вода перетворилася на пару. Молярна маса кисню $\mu_1 = \mu(\text{O}_2) = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, молярна маса водяної пари $\mu_2 = \mu(\text{H}_2\text{O}) = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Відповідь: $P \approx 640 \text{ кПа}$.

4. Знайти концентрацію молекул водню у балоні, якщо тиск $p=266,6 \text{ Па}$, а середня квадратична швидкість його молекул $\sqrt{\langle v^2 \rangle} = 240 \text{ м/с}$. Відповідь: $n \approx 4,2 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$.

5. У скільки разів середня квадратична швидкість молекул кисню менша, ніж середня квадратична швидкість молекул водню, якщо температури цих газів однакові? Відповідь: 4 рази.

6. Знайти відношення C_p/C_v для газової суміші, що складається із маси $m_1=8 \text{ г}$ гелію і маси $m_2=16 \text{ г}$ кисню.

Відповідь: $\frac{C_p}{C_v} \approx 1,59$.

7. Маса $m=10 \text{ г}$ кисню знаходиться під тиском $p=0,3 \text{ МПа}$ і температурі $t=10 \text{ С}$. Після нагрівання при $p=\text{const}$ газ зайняв об'єм $V_2=10 \text{ л}$. Знайти кількість тепла Q , отриману газом, та енергію теплового руху молекул газу до U_1 і після U_2 нагрівання. Відповідь: $Q = 7900 \text{ Дж}$, $U_1 = 1800 \text{ Дж}$, $U_2 = 7600 \text{ Дж}$..

8. У посудині об'ємом $V=2 \text{ л}$ знаходиться азот під тиском $p=0,1 \text{ МПа}$. Яку кількість тепла Q треба передати азоту, щоб: а)

при $p = \text{const}$ об'єм збільшився вдвічі, б) при $V = \text{const}$ тиск збільшився вдвічі? Відповідь: а) $Q = 700 \text{ Дж}$; б) $Q = 500 \text{ Дж}$.

9. Обсерваторія розташована на висоті $h = 3250 \text{ м}$ над рівнем моря. Знайти тиск P повітря на цій висоті. Температуру повітря вважати сталою і рівною $t = 5^\circ \text{C}$. Молярна маса повітря $\mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Тиск повітря на рівні моря $P_0 = 101,3 \text{ кПа}$. Відповідь: $P = 67,9 \text{ кПа}$.

10. Знайти середню довжину вільного пробігу $\langle \lambda \rangle$, молекул повітря за нормальних умов. Діаметр молекул повітря $\sigma = 0,3 \text{ нм}$. Відповідь: $\langle \lambda \rangle = 93 \text{ нм}$.

11. Визначити коефіцієнт теплопровідності λ азоту, Який перебуває при температурі $T = 280 \text{ К}$. Ефективний діаметр та молярна маса азоту $\sigma = 0,38 \text{ нм}$, $\mu = 0,028 \text{ кг/м}^3$ відповідно. Відповідь: $\lambda = 8,25 \text{ мВт/(м} \cdot \text{К)}$.

12. Визначити коефіцієнт дифузії D і коефіцієнт внутрішнього тертя η азоту, що знаходиться при температурі $T = 300 \text{ К}$ і тиску $P = 10^5 \text{ Па}$. Ефективний діаметр та молярна маса азоту $\sigma = 0,38 \text{ нм}$, $\mu = 0,028 \text{ кг/м}^3$ відповідно. Відповідь: $D = 1,54 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$, $\eta = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

13. Зовнішня поверхня цегляної стіни площею $S = 25 \text{ м}^2$ і товщиною $\Delta z = 37 \text{ см}$ має температуру $T_1 = 259 \text{ К}$, а внутрішня поверхня – $T_2 = 293 \text{ К}$. Приміщення опалюється електроплитою. визначити її потужність, якщо температура в приміщенні підтримується постійною. Теплопровідність цегли $\lambda = 0,4 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Відповідь: $Q = 0,92 \text{ кВт}$.

14. Цегляна стіна будинку висотою $H = 4 \text{ м}$ і довжиною $L = 5 \text{ м}$ має товщину $\Delta z_1 = 500 \text{ мм}$. З внутрішнього боку стіна має шар штукатурки завтовшки $\Delta z_2 = 15 \text{ мм}$. Визначити теплові втрати Q через стіну, якщо: коефіцієнт теплопровідності цегли та штукатурки $\lambda_1 = 0,7$ і $\lambda_2 = 0,75 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, відповідно, а внутрішня і зовнішня температури стіни $t_1 = +18^\circ \text{C}$ і $t_2 = -15^\circ \text{C}$. Відповідь: $Q = 0,9 \text{ кВт}$.

2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ БУДИНКІВ ЗА ТЕПЛОТЕХНІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ

2.1. Методичні рекомендації до виконання теплотехнічного розрахунку огороджувальної конструкції

Необхідні для розрахунку величини наведені в додатках методичних вказівок СНБ 2.04.01-97 та ДБН В.2.6–31:2006. Зміна №1 (табл. 1).

Визначаємо товщину шару утеплювача $\delta_{\text{утепл.}}$, прирівнюючи в рівнянні для значення опору теплопередачі конструкції R_{Σ} до його мінімально допустимого (нормативного) $R_{q \min}$. Отриману товщину утеплювача заокруглюємо до більшого значення. Розраховуємо опір теплопередачі всієї огороджувальної конструкції та порівнюємо з нормативним значенням.

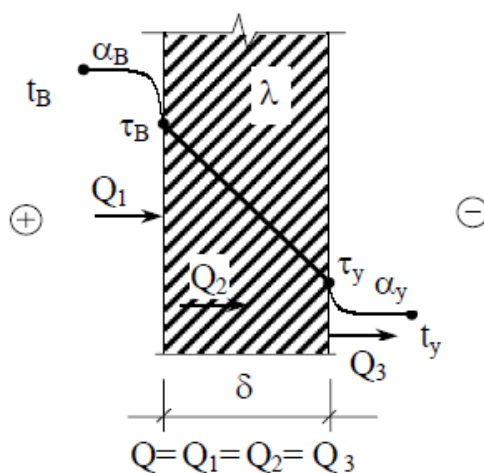
Для промислових будівель мінімально допустиме значення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій залежить не тільки від температурної зони (як для житлових будівель), а й від тепловологісного режиму внутрішнього середовища та теплової інерції конструкції D . На початку розрахунку оцінюють сумарну теплову інерцію шарів, товщини яких відомі, та визначають за відповідними додатками (табл. 1) мінімально допустиме значення опору теплопередачі для заданої конструкції. Після розрахунку товщини утеплювача необхідно обчислити теплову інерцію всієї огороджувальної конструкції; визначити мінімально допустиме значення опору теплопередачі $R_{q \min}$ та порівняти з опором теплопередачі

Табл. 1 Послідовність визначення величин та джерела їх знаходження.

	що визначити та в якій послідовності:	ДБН В.2.6-31:2006
	Відповідно до району будівництва:	
1	Температурну зону	ДОДАТОК В
2	Мінімально допустиме значення опору теплопередачі конструкції $R_{q \min}$	табл. 1 або 2, стр. 6-7

	<i>Відповідно до призначення будівлі</i>	
1	Відносну вологість φ_e в та температуру внутрішнього повітря $t_e = t_{int}$	ДОДАТОК Г, табл. Г.2
2	Вологісний режим приміщень	ДОДАТОК Г, табл. Г.1
3	Умови експлуатації матеріалів огорожувальної конструкції	ДОДАТОК К
4	Коефіцієнти теплопровідності λ матеріалів шарів конструкції відповідно до умов експлуатації	ДОДАТОК Л, табл. Л.1
5	Коефіцієнти теплообміну внутрішньої α_e та зовнішньої α_z поверхонь конструкції	ДОДАТОК Е

Теплообмін між тілами, що знаходяться в деякому середовищі, може відбуватися за рахунок теплопровідності, конвекції та випромінювання. Залежності від фізико-хімічних та геометричних характеристик (температури, структури, форми тощо) матеріалів та оточуючого середовища переважатиме той чи інший вид теплообміну.



Теплопередача через захисну конструкцію

Приміщення будівель ізолювані від зовнішнього середовища огорожувальними конструкціями, що дозволяє створити в них необхідний мікроклімат. При незмінному стаціонарному тепловому потоці кількість теплоти Q (питома), що проходить

через 1 м² однорідної огорожувальної конструкції нормально до її поверхні за одиницю часу, визначають за рівнянням Фур'є для теплопровідності:

$$Q = \lambda \frac{\tau_{\text{int}} - \tau_{\text{ext}}}{\delta}$$

де δ – товщина однорідної конструкції, м; $\tau_{\text{int}} = \tau_{\text{в}}$, $\tau_{\text{ext}} = \tau_{\text{з}}$ – значення температур на внутрішній та зовнішній поверхнях відповідно, °С.

Величину λ , що показує, яка кількість теплоти передається нормально до поверхні матеріалу шару площею 1 м², товщиною 1 м за час 1 с при різниці температур на внутрішній та зовнішній поверхнях шару 1 К, називають коефіцієнтом теплопровідності матеріалу λ , Вт/(м·К). Коефіцієнт теплопровідності матеріалів визначають у сухому та зволоженому стані на підставі експериментальних випробувань. [1, додаток Л.2].

Величину, яка є відношенням товщини δ шару до коефіцієнта теплопровідності λ його матеріалу, називають термічним опором шару R і визначають за формулою:

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

де i – номер шару матеріалу.

Опір теплопередачі всієї огорожувальної конструкції (термічно однорідної непрозорої) розраховують за формулою [1, додаток И]:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}},$$

де $\alpha_{\text{int}} = \alpha_{\text{в}}$, $\alpha_{\text{ext}} = \alpha_{\text{з}}$ – коефіцієнти теплообміну внутрішньої і зовнішньої поверхонь конструкції з внутрішнім та зовнішнім повітрям, Вт / (м² × К) [1, додаток Е].

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалюваних будівель і споруд відповідно до ДБН В.2.6-31:2006 обов'язковим є виконання умов:

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд і внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розділяють приміщення, температури повітря в яких відрізняються на 3 °С та більше, обов'язкове виконання умов:

$$R_{\Sigma \text{ пр}} \geq R_{q \text{ min}},$$

$$\Delta t_{\text{пр}} \leq \Delta t_{\text{сг}},$$

$$\tau_{\text{в min}} > t_{\text{min}}.$$

де $R_{\Sigma \text{ пр}}$ – приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції (для термічно однорідних огорожувальних конструкцій визначається опір теплопередачі), приведений опір теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

$R_{q \text{ min}}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції, мінімальне значення опору теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

$\Delta t_{\text{пр}}$ – температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $^{\circ}\text{C}$;

$\Delta t_{\text{сг}}$ – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $^{\circ}\text{C}$;

$\tau_{\text{в min}}$ – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, $^{\circ}\text{C}$;

t_{min} – мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього й зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$.

Опір теплопередачі огорожувальної конструкції $R_{q \text{ min}}$, має бути більше або рівним величині, при якій захисна конструкція буде задовольняти теплотехнічним вимогам, тобто необхідним опором теплопередачі $R_{\Sigma \text{ пр}} = R_{\text{req}}$

Необхідні значення R_{req} визначаються виходячи з санітарно - гігієнічних і комфортних умов за формулою і умов енергозбереження.

Для визначення R0TP з умов енергозбереження в [2] введена величина ГДОП (градусо-діб опалювального періоду), що визначається за формулою:

$$\text{ГДОП} = (t_z - t_{\text{оп.пер.}}) Z_{\text{оп.пер.}},$$

де $t_{\text{оп.пер.}}$ і $Z_{\text{оп.пер.}}$ - середня температура, ° С, і тривалість, діб., періоду з середньою добовою температурою повітря нижче або рівний 8 ° С [1].

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі $R_{q\min}$ огорожувальної конструкції промислових будівель визначають залежно від значення безрозмірної величини теплової інерції огорожувальної конструкції D , що розраховується за формулою:

$$D = \sum_{i=1}^n R_i \cdot s_i$$

де s_i – коефіцієнт теплосасвоєння матеріалу i -го шару, Вт / (м² × К) ;

n – число шарів конструкції, рахуючи за напрямом теплового потоку.

де R_i – термічний опір i -го шару конструкції, що розраховується за формулою:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}},$$

де δ_i – товщина i -го шару конструкції, м,

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м · К), що приймають згідно з 2.11;

s_{ip} – коефіцієнт теплосасвоєння матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м² · К), що приймають згідно з 2.11;

n – кількість шарів в конструкції за напрямком теплового потоку.

Мінімально допустиме значення, $R_{q\min}$, опору теплопередачі внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розмежовують приміщення з розрахунковими температурами повітря, які відрізняються більше ніж на 3⁰С (стіни, перекриття), і приміщень

з поквартирним регулюванням теплоспоживання визначають за формулою:

$$R_{q \min} = \frac{t_{\text{в1}} - t_{\text{в2}}}{\Delta t_{\text{cr}} \alpha_{\text{в1}}},$$

де $t_{\text{в1}}$, $t_{\text{в2}}$ – розрахункові температури повітря в приміщеннях, $^{\circ}\text{C}$, що приймаються згідно з табл. Г.2 або розраховуються згідно з додатком Д;

Δt_{cr} – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $^{\circ}\text{C}$;

$\alpha_{\text{в1}}$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні конструкцій, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$, що приймається згідно з додатком Е.

Особливості розміщення теплоізоляційних матеріалів та повітряних прошарків в огорожувальних конструкціях

При проектуванні теплоізоляційної оболонки будинку у вигляді багат шарових конструкцій теплоізоляційні матеріали (утеплювачі) слід розташовувати з зовнішньої сторони огорожувальної конструкції для запобігання накопичення в них вологи; ненаскрізні теплопровідні включення розташовувати ближче до теплої сторони огороження, а наскрізні – мають бути ізольовані матеріалами з коефіцієнтом теплопровідності не більше $0,35 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{K})$.

Повітряні прошарки можуть бути як замкнені, так і вентильовані.

Замкнені прошарки рекомендують розташовувати ближче до зовнішньої поверхні і використовують для підвищення термічного опору конструкцій. Товщина прошарків – від 20 мм до 100 мм, а висота до 6 м, але не більше висоти поверху. Повітряний прошарок, відокремлений від зовнішнього повітря кладкою товщиною в одну цеглину або менше, не є замкненим [1].

Вентильовані прошарки проектують для видалення вологи з товщі конструкцій, а також для підвищення теплостійкості конструкцій. Оптимальна товщина вентильованих прошарків у стінах становить від 60 мм до 100 мм, у покриттях – від 40 мм до

60 мм, довжина – не більше 24 м, а нахил покрівлі – не менше 6 %.

Вентильовані повітряні прошарки мають бути розташовані між зовнішнім захисно-опоряджувальним шаром та теплоізоляцією, поверхню якої захищають повітрогідрозахисним шаром. Шари конструкції, що розташовані між повітрогідрозахисним шаром та зовнішньою поверхнею конструкції, в розрахунку не враховуються.

2.2. Теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій

Приклад 1. Для зовнішньої стіни визначити товщину утеплювача і виконання санітарно-гігієнічних вимог теплового захисту будівлі.

Вихідні дані

Стіна з цегли шаруватої конструкції: внутрішній шар – цегляна кладка з керамічної порожнистої цегли $\gamma_0 = 1200 \text{ кг/м}^3$, утеплювач - напівжорсткі плити з мінвати щільністю $\gamma_0 = 100 \text{ кг/м}^3$; з зовнішньої сторони – цегляна кладка з облицювальної керамічної цегли товщиною 120 мм і щільністю $\gamma_0 = 1600 \text{ кг/м}^3$.

Місце будівництва – **Місто А**

Зона вологості – нормальна.

Тривалість опалювального періоду $z_{ht} = 229$ діб.

Середня розрахункова температура опалювального періоду $t_{ht} = -5,9^\circ\text{C}$.

Температура холодної п'ятиденки $t_{ext} = -35^\circ\text{C}$.

Температура внутрішнього повітря $t_{int} = + 21^\circ\text{C}$;

Вологість внутрішнього повітря $\phi = 55 \%$;

Режим вологості приміщення – нормальний.

Умови експлуатації огорожувальних конструкцій – Б.

Коефіцієнт теплосприйняття внутрішньої поверхні огороження $\alpha_{int} = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огороження $\alpha_{ext} = 23 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Послідовність розрахунку

Визначаємо величину температури охолодження опалювального періоду за формулою

$$D_d = (t_{\text{int}} - t_{\text{ht}}) \cdot z_{\text{ht}} = (21 - (-5,9)) \cdot 229 = 6160,1^{\circ}\text{C} \cdot \text{дб}.$$

Стандартна стійкість теплопередачі зовнішніх стін обчислюємо за формулою при значеннях коефіцієнтів $\alpha = 0,00035$ и $b = 1,4$ СНБ 2.04.01-97

$$R_{\text{req}} = \alpha D_d + b = 0,00035 \cdot 6160,1 + 1,4 = 3,56 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}.$$

Для зовнішніх стін з цегли з утеплювачем треба застосовувати наведену теплостійкість R_0^r враховуючи коефіцієнт теплотехнічної однорідності r , який для стін товщиною 510 мм дорівнює 0,74, т.п.,

$$R_0^r = R_0 \cdot r,$$

де R_0 – загальний опір теплопередачі огороження, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Розрахунок проводиться за умови рівності $R_0^r = R_{\text{req}}$, тому,

$$R_0 = \frac{R_{\text{req}}}{r} = \frac{3,56}{0,74} = 4,81 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}.$$

Стандартизовані теплотехнічні показники матеріалів стіни визначаємо за додатком (Д) і переносимо їх в таблицю.

№ з/п	Назва матеріалу	γ_0 , кг/м ³	δ , м	λ , Вт/(м·°C)	R , м ² ·°C/Вт
1	вапняно-піщаний розчин	1600	0,015	0,81	0,019
2	Цегляна кладка з порожнистої цегли	1200	0,380	0,52	0,731
3	Плити пінополістирольні	100	-	0,052	-
4	Цегляна кладка з порожнистої цегли (облицювальної)	1600	0,120	0,58	0,207

Загальний термічний опір стіни без обліку утеплювача становить :

$$R_0^1 = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + R_1 + R_2 + R_4 + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}} = \frac{1}{8,7} + 0,019 + 0,731 + 0,207 + \frac{1}{23} = 1,115 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Визначаємо термічний опір утеплювача $R_{\text{ут}}$

$$R_{\text{y0}} = R_0 - R_0^1 = 4,81 - 1,115 = 3,695 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Використовуючи формулу (6) СП 23-101-04, знаходимо товщину утеплювача

$$\delta_{\text{ут}} = \lambda_{\text{ут}} \cdot R_{\text{ут}} = 0,052 \cdot 3,695 = 0,192 \text{ м}.$$

Беремо товщину утеплювача 200 мм.

Остаточна товщина стіни дорівнюватиме $(380+200+120) = 700 \text{ мм}$

Визначаємо загальний фактичний опір теплопередачі огороження враховуючи отриману товщину утеплювача:

$$R_0^\Phi = R_0^1 + \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} = 1,115 + \frac{0,2}{0,052} = 4,96 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Обчислюємо фактичний наведений опір теплопередачі, R_0^r

$$R_0^r = 4,96 \cdot 0,74 = 3,67 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Умова, $R_0^r = 3,67 > R_{\text{req}} = 3,56 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, виконується.

Перевірка виконання санітарно-гігієнічних вимог теплового захисту будівлі

I. Перевіряємо виконання умов $\Delta t_0 \leq \Delta t_n$.

Визначаємо Δt_0

$$\Delta t_0 = \frac{(21+35)}{3,67 \cdot 8,7} = 1,75^\circ \text{ C}.$$

Відповідно $\Delta t_n = 4^\circ\text{C}$, тому, умова,

$\Delta t_0 = 1,75 < \Delta t_n = 4^\circ\text{C}$, виконується.

II. Перевіряємо виконання умови $\tau_{\text{si}}^p > t_d$

Для розрахунку τ_{si}^p використовуємо формулу

$$\tau_{\text{si}}^p = 21 - \frac{[1(21+35)]}{3,67 \cdot 8,7} = 21 - 1,75 = 19,25^\circ \text{ C}.$$

Згідно додатку (Р) для температури повітря всередині $t_{\text{int}} = 21^\circ\text{C}$ і відносної вологості $\phi = 55\%$ температура точки роси $t_d = 11,62^\circ\text{C}$, відповідно, умова, $\tau_{\text{si}}^p = 19,25 > t_d = 11,62^\circ\text{C}$, виконується.

Висновок: Огороджувальна конструкція відповідає нормативним вимогам теплового захисту будівель.

Приклад 2. Для горищного перекриття холодного горища визначити товщину утеплювача і виконання санітарно-гігієнічних вимог теплового захисту будівлі

Вихідні дані

Горищне перекриття складається з конструктивних шарів, наведених в таблиці.

№ з/п	Назва матеріалу	γ_0 , кг/м ³	δ , м	λ , Вт/(м·°C)	R , (м ² ·°C/ Вт)
1	Залізобетон (ДСТУ 26633)	2500	0,22	2,04	0,142
2	Пароізоляція – 1 шар рубітексу (ДСТУ 10293)	600	0,005	0,17	0,029
3	Плити напівжорсткі мінватні на бітумних в'язучих (ГОСТ 10140–80)	100	-	0,07	-

Місце будівництва – **Місто А**

Кліматичний район – І В .

Зона вологості – нормальна.

Тривалість опалювального періоду $z_{ht} = 229$ діб.

Середня розрахункова температура опалювального періоду $t_{ht} = -5,9^\circ\text{C}$.

Температура холодної п'ятиденки $t_{ext} = -35^\circ\text{C}$.

Температура повітря всередині $t_{int} = + 21^\circ\text{C}$;

Вологість повітря всередині $\phi = 55 \%$;

Режим вологості приміщення– нормальний.

Умови експлуатації огорожувальних конструкцій – Б.

Коефіцієнт теплосприйняття внутрішньої поверхні огороження $\alpha_{int} = 8,7 \text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$.

Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огороження $\alpha_{ext} = 12, \text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$.

Послідовність розрахунку

Величина температури охолодження опалювального періоду для місті Мскладає $D_d = 6160,1^\circ\text{C} \cdot \text{дб.}$ (див. прикл 1).

Стандартний опір теплопередачі дахового перекриття визначаємо за формулою за численними значеннями коефіцієнтів $\alpha = 0,00045$ и $b = 1,9$

$$R_{req} = \alpha D_d + b = 0,00045 \cdot 6160,1 + 1,9 = 4,67 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

За умови рівності загального термічного опору R_0 стандартному R_{req} , т.е. $R_0 = R_{req}$, визначаємо за формулою (7) СП 23-101-04 термічний опір дахового перекриття R_k :

$$R_k = R_{req} - (R_{si} + R_{se}) = 4,67 - (1/8,7 + 1/12) = 4,67 - 0,197 = 4,473 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт},$$

яке може бути подано як сума термічних опорів окремих шарів

$$R_k = R_1 + R_2 + R_{yt},$$

де R_1 – термічний опір залізобетонної плити перекриття, величина якого складає $0,142 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

R_2 – термічного опору шару пароізоляції;

R_{yt} – термічний опір утеплюючого шару, визначений з

$$R_{yt} = R_k - (R_1 + R_2) = 4,473 - (0,142 + 0,029) = 4,302 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Далі за формулою (6) СП 23-101-04 визначаємо товщину утеплюючого шару

$$\delta_{yt} = R_{yt} \cdot \lambda_{yt} = 4,302 \cdot 0,07 = 0,301 \text{ м}.$$

Беремо товщину утеплюючого шару що дорівнює 300 мм.

Визначаємо загальний фактичний опір теплопередачі огороження розрахунком прийнятої товщини утеплювача

$$R_o^\phi = R_1 + R_2 + R_{yt} + \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{1}{\alpha_{ext}} = 0,142 + 0,029 + \frac{0,3}{0,07} + \frac{1}{8,7} + \frac{1}{12} = 4,653 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Умови, $R_o^\phi = 4,65 \approx R_{req} = 4,67 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, виконується.

Перевірка виконання санітарно-гігієнічних вимог теплового захисту будівлі

I. Перевіряємо виконання умови $\Delta t_0 \leq \Delta t_n$.

Величину Δt_0 визначаємо за формулою (4)

$$\Delta t_0 = \frac{21 + 35}{4,65 \cdot 8,7} = 1,38 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

За табл. $\Delta t_n = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, тому, умова, $\Delta t_0 = 1,38 < \Delta t_n = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, виконується.

II. Перевіряємо виконання умови $\tau_{si}^p > t_d$.

Значення τ_{si}^p визначаємо за формулою (25)

$$\tau_{si}^p = 21 - \frac{1(21 + 35)}{4,65 \cdot 8,7} = 21 - 1,38 = 19,6 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Відповідно додатку (Р) для температури повітря всередині $t_{int} = 21^{\circ}\text{C}$ і відносної вологості $\varphi = 55 \%$ температура точки роси $t_d = 11,62^{\circ}\text{C}$, тому, умова, $\tau_{si}^p = 19,6 > t_d = 11,62^{\circ}\text{C}$, виконується.

Висновок: Горищне перекриття відповідає нормативним вимогам теплового захисту будівлі.

Приклад 3. Для промислової будівлі визначити товщину теплоізоляційного шару в тришаровій залізобетонній стіновій панелі на гнучких зв'язках.

Вихідні дані

Необхідні дані для теплотехнічного розрахунку стінової панелі наведені в таблиці.

№ з/п	Назва матеріалу	γ_0 , кг/м ³	λ , Вт/(м·°C)	δ , мм	R , м ² ·°C/Вт
1	Залізобетон	2500	2,04	0,1	0,049
2	Пінополістирол	40	0,05	-	-
3	Залізобетон	2500	2,04	0,05	0,025

Місце будівництва – **Місто А**

Кліматичний район – **I В**.

Зона вологості – нормальна.

Тривалість опалювального періоду $z_{ht} = 229$ діб.

Середня температура опалювального періоду $t_{ht} = -5,9^{\circ}\text{C}$.

Температура холодної п'ятиденки $t_{ext} = -35^{\circ}\text{C}$.

Температура повітря всередині $t_{int} = +18^{\circ}\text{C}$.

Вологість повітря всередині $\varphi = 50 \%$.

Режим вологості приміщення – нормальний.

Умови експлуатації огорожувальних конструкцій – Б.

Коефіцієнт теплосприйняття внутрішньої поверхні огородження

$$\alpha_{\text{int}} = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огородження

$$\alpha_{\text{ext}} = 23 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}.$$

Послідовність розрахунку

Визначаємо кількість нагрівання опалювального періоду за формулою при температурі $t_{\text{int}} = +18^\circ \text{С}$

$$D_d = (18 + 5,9) \cdot 229 = 5471,1^\circ\text{С} \cdot \text{діб}.$$

Стандартний опір теплопередачі стінової панелі обчислюємо за формулою при числових значеннях коефіцієнтів $\alpha = 0,0002$ и $b = 1,0$

$$R_{\text{req}} = \alpha \cdot D_d + b = 0,0002 \cdot 5471,1 + 1,0 = 2,094 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}.$$

Для стінових панелей промислового виробництва визначається наведений опір теплопередачі R_0^r ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}$) з урахуванням коефіцієнту теплотехнічної однорідності r , величина якого відповідно табл. для залізобетонних конструкцій стінових панелей з ізоляцією і гнучкі посилення складає $r = 0,7$. Таким чином, наведений опір теплопередачі стінових панелей

$$R_0^r = R_0 \cdot r,$$

де R_0 - загальний опір теплопередачі огородження, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}$.

Розрахунок проводиться за умови рівності $R_0^r = R_{\text{req}}$, тому,

$$R_0 = \frac{R_{\text{req}}}{r} = \frac{2,094}{0,7} = 2,991 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}.$$

Використовуючи формулу , знаходимо термічний опір огорожувальної конструкції R_k

$$R_k = R_0 - (R_{\text{si}} + R_{\text{se}}) = 2,991 - \left(\frac{1}{8,7} + \frac{1}{23}\right) = 2,991 - 0,157 = 2,834 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт},$$

яке може бути представлене як сума теплових опорів окремих шарів, тобто

$$R_k = R_1 + R_{yt} + R_3,$$

де R_1 і R_3 – термічний опір відповідно внутрішнього і зовнішнього шарів залізобетону;

R_{yt} – термічний опір утеплюючого шару, визначаємо з рівняння

$$R_{yt} = R_k - (R_1 + R_3) = 2,883 - (0,049 + 0,025) = 2,883 - 0,073 = 2,81 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C/Вт.}$$

За формулою СП 23-101-04 визначаємо товщину утеплюючого шару:

$$\delta_{yt} = R_{yt} \cdot \lambda_{yt} = 2,883 \cdot 0,05 = 0,14 \text{ м.}$$

Отримуємо товщину утеплюючого шару, що становить 140 мм.

Загальна товщина стінової панелі становить:

$$\delta_{\text{общ}} = \delta_1 + \delta_{yt} + \delta_3 = 100 + 140 + 50 = 290 \text{ мм.}$$

Заокруглюємо до стандартної товщини стінову панель за рахунок

збільшення внутрішнього залізобетонного шару на 10 мм і отримуємо її, що дорівнює 300 мм.

Виконуємо перевірку з урахуванням отриманої товщини стінової панелі

$$R_o^\phi = R_1 + R_3 + \frac{\delta_{yt}}{\lambda_{yt}} + \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}} = 0,049 + 0,025 + \frac{0,14}{0,05} + \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} = 3,01 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C/Вт.}$$

Розраховуємо фактичний наведений опір теплопередачі R_0^r ,

$$R_0^r = R_o^\phi \cdot r = 3,01 \cdot 0,7 = 2,11 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C/Вт.}$$

Умова, $R_0^r = 2,11 > R_{\text{req}} = 2,99 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$, виконується.

Перевірка виконання санітарно-гігієнічних вимог теплового захисту будівель

I. Перевіряємо виконання умов $\Delta t_0 \leq \Delta t_n$.

Визначаємо за формулою (4) $\Delta t_0, ^\circ\text{C}$

$$\Delta t_0 = \frac{18 + 35}{2,11 \cdot 8,7} = 2,88 ^\circ\text{C.}$$

Відповідно до табл. (4)/ $\Delta t_n = 7 ^\circ\text{C}$, тому, умова,

$$\Delta t_0 = 2,88 < \Delta t_n = 7 ^\circ\text{C}, \text{ виконується.}$$

II. Перевіряємо виконання умов $\tau_{si}^p > t_d$.

Значення τ_{si}^p обчислюємо за формулою (25)

$$\tau_{si}^p = 18 - \frac{1(18 + 35)}{2,11 \cdot 8,7} = 18 - 2,88 = 15,12 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Відповідно додатку (Р) СП 23-101-04 для температури повітря всередині $t_{int} = +18^\circ\text{C}$ і відносної вологості $\varphi = 50 \%$ температура точки роси $t_d = 7,44^\circ\text{C}$, тому, умова,

$$\tau_{si}^p = 15,12 > t_d = 7,44^\circ\text{C}, \text{ виконується.}$$

Висновок: Стінова 3-шарова залізобетонна панель з утеплювачем товщиною 140 мм відповідає стандартним вимогам теплового захисту будівлі.

Приклад 4. Визначити товщину утеплюючого шару горищного перекриття і покриття теплого горища і виконання санітарно-гігієнічних вимог теплового захисту будівлі.

Вихідні дані

Тип будівлі – 9-ти поверховий житловий будинок. Кухні в квартирах облаштовані газовими плитами. Висота горищного приміщення – 2,0 м. Площа покриття (покріву) $A_{g.c} = 367,0 \text{ м}^2$, перекриття теплого даху $A_{g.f} = 367,0 \text{ м}^2$ і зовнішніх стін горища $A_{g.w} = 108,2 \text{ м}^2$.

В теплому горищі розташований верхній монтаж труб системи опалення та водопостачання. Розрахована температура системи опалення – 95°C , гарячого водопостачання – 60°C .

Діаметр труб опалення 50 мм довжиною 55 м, труб гарячого водопостачання 25 мм довжиною 30 м.

Горищне перекриття складається з конструктивних шарів, наведених в табл. 1.

Таблиця 1

№ з/п	Назва матеріалу	δ , м	γ_0 , кг/м ³	λ_0 , Вт/м·°C	R , м ² ·°C/Вт.
1	Залізобетонна плита	0,22	2500	2,04	0,142
2	Рубітекс – 1 шар	0,005	600	0,17	0,029
3	Плити жорсткі мінватні	-	200	0,08	-

Поєднане покриття над теплим горищем складається з структурних шарів, перелічених у табл. 2.

Таблиця 2

№ з/п	Назва матеріалу	δ , м	γ_0 , кг/м ³	λ_0 , Вт/м·°С	R , м ² ·°С/Вт ³
4	Залізобетонна плита	0,035	2500	2,04	0,017
5	Рубітекс – 1 шар	0,005	600	0,17	0,029
6	Плити з газобетону	-	300	0,13	-
7	Цементно-піщаний розчин	0,02	1800	0,93	0,021
8	Техноеласт – 2 шари	0,006	600	0,17	0,035

Місце будівництва – **Місто А**

Зона вологості – нормальна.

Тривалість опалювального періоду $z_{ht} = 229$ діб.

Середня розрахована температура опалювального періоду $t_{ht} = -5,9$ °С.

Температура холодної п'ятиденки $t_{ext} = -35$ °С.

Температура повітря всередині $t_{int} = + 21$ °С.

Відносна вологість повітря всередині: $\phi = 55$ %.

Режим вологості приміщення – нормальний.

Умови експлуатації огорожувальних конструкцій – Б.

Коефіцієнт тепло сприйняття внутрішньої поверхні покриття теплого горища $\alpha_{int} = 9,9$ Вт/м² ·°С.

Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огороження $a_{ext} = 12$ Вт/м²·°С.

Розрахована температура повітря на теплому горищі $t_{int}^g = +15$ °С.

Послідовність розрахунку

Величина градусо-діб опалювального періоду для міста М складає $D_d = 6160,1$ °С діб (див. прикл. 1).

Для визначення потрібного опору теплопередачі горищного перекриття R_0^{g-f} , попередньо визначаємо понижуючий коефіцієнт « n

$$n = \frac{21 - 15}{21 + 35} = 0,107$$

І потрібний опір теплопередачі покриття теплого горища за формулою (1) при кількісних значеннях коефіцієнтів $\alpha = 0,0005$ и $b = 2,2$

$$R_0^{\text{req}} = 0,0005 \cdot 6160,1 + 2,2 = 5,28 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

Тоді вираховуємо $R_0^{\text{g.f}}$

$$R_0^{\text{g.f}} = 5,28 \cdot 0,107 = 0,56 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}.$$

Потрібний опір покриття над теплим горищем $R_0^{\text{g.c}}$ визначаємо за формулою, попередньо встановивши наступні величини:

- G_{ven} – наведена (відповідно до 1 м² горища) витрата повітря в системі вентиляції, що дорівнює 19,5 кг/(м²·год);
- критичну теплоємність повітря c , що дорівнює 1 кДж/(кг·°C);
- температуру повітря, що виходить з вентиляційних шахт, t_{ven} °C, що приблизно дорівнює $t_{\text{int}} + 1,5$;
- лінійну щільність теплового потоку через поверхню теплоізоляції, потрібну на 1 м довжини трубопроводу q_{pi} , прийнятну для труб опалення, що дорівнює 25, а для труб гарячого водопостачання – 12 Вт/м ;
- наведене теплопостачання з трубопроводів систем опалення і гарячого водопостачання визначеного виразу наведену площу зовнішніх стін горища , що визначається за формулою

$$\frac{\sum_{i=1}^n q_{\text{pi}} l_{\text{pi}}}{A_{\text{g.f}}} = \frac{(25 \cdot 55 + 12 \cdot 30)}{367} = 4,71 \text{ Вт/м}^2;$$

$$- a_{\text{g.w}} \text{ м}^2/\text{м}^2,$$

$$a_{\text{g.w}} = \frac{A_{\text{g.w}}}{A_{\text{g.f}}} = \frac{108,2}{367} = 0,295;$$

– нормуючий опір теплопередачі зовнішніх стін теплого горища визначеного через градусо-діби опалювального періоду при температурі повітря всередині горища $t_{\text{int}}^{\text{g}} = +15$ °C за формулою (2)

$$D_{\text{d}}^{\text{g.w}} = (t_{\text{int}}^{\text{g}} - t_{\text{ht}}) \cdot z_{\text{ht}} = (15 + 5,9) 229 = 4786,1 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{діб},$$

$$R_0^{\text{g.w}} = a D_{\text{d}}^{\text{g.w}} + b = 0,00035 \cdot 4786,1 + 1,4 = 3,08 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Підставляємо знайдені значення у формулу і визначаємо потрібний опір теплопередачі покриття над теплим горищем (32) $R_0^{g,c}$:

$$R_0^{g,c} = \frac{15 + 35}{0,28 \cdot 19,2 \cdot (22,5 + 15) + \frac{(21 - 15)}{0,56} + 4,71 - \frac{(15 + 35) \cdot 0,295}{3,08}} = 0,98 \text{ м}^2 \cdot \text{C}/\text{Вт}.$$

Визначаємо товщину утеплювача в горищному перекритті при

$$R_0^{g,f} = 0,56 \text{ м}^2 \cdot \text{C}/\text{Вт}:$$

$$\delta_{yt}^{g,f} = (R_0^{g,f} - \frac{1}{\alpha_{int}} - R_1 - R_2 - \frac{1}{\alpha_{ext}}) \lambda_{yt} = (0,56 - \frac{1}{8,7} - 0,142 - 0,029 - \frac{1}{12}) 0,08 = 0,022 \text{ м},$$

Отримуємо товщину утеплювача так як мінімальна товщина мінватних плит згідно (ДСТУ 10140) складає 40 мм.

Визначаємо величину утеплювача в покритті при $R_0^{g,c} = 0,98 \text{ м}^2 \cdot \text{C}/\text{Вт}$:

$$\begin{aligned} \delta_{yt}^{g,c} &= (R_0^{g,c} - \frac{1}{\alpha_{int}^g} - R_4 - R_5 - R_7 - R_8 - \frac{1}{\alpha_{ext}}) \lambda_{yt} = \\ &= (0,98 - \frac{1}{9,9} - 0,017 - 0,029 - 0,022 - 0,035 - \frac{1}{12}) 0,13 = 0,1 \text{ м}, \end{aligned}$$

Отримуємо товщину утеплювача (газобетонна плита) 100 мм.

Перевірка виконання санітарно-гігієнічних вимог теплового захисту будівлі

I. Перевіряємо виконання умови $\Delta t^g \leq \Delta t_n$ для горищного перекриття.

Величину Δt^g визначаємо за формулою (31)

$$\Delta t^g = \frac{21 - 15}{0,56 \cdot 8,7} = 1,23 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Умова виконується відповідно до табл. 4 $\Delta t_n = 3 \text{ } ^\circ\text{C}$,

$$\text{а } \Delta t^g = 1,23 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

II. Перевіряємо зовнішні огорожувальні конструкції горища за

умови невинесання конденсату на їхніх внутрішніх поверхнях, т.п. на виконання умови

$$\tau_{si}^{g,c}(\tau_{si}^{g,w}) \geq t_d :$$

– для покриття над теплим горищем, взявши $a_{int}^g = 9,9$ Вт /м² · °С,

$$\tau_{si}^{g,c} = 15 - \frac{15 + 35}{0,98 \cdot 9,9} = 15 - 4,12 = 10,85 \text{ °С};$$

– для зовнішніх стін теплового горища, взявши $a_{int}^g = 8,7$ Вт /м² · °С,

$$\tau_{si}^{g,w} = 15 - \frac{15 + 35}{3,08 \cdot 8,7} = 15 - 1,49 = 13,5 \text{ °С}.$$

III. Обчислюємо температуру точки роси t_d , °С в теплому горищі і для цього:

– розраховуємо вміст вологи зовнішнього повітря, f_{ext} , г/м³, при розрахованій температурі t_{ext} за формулою (37)

$$f_{ext} = \frac{0,794 \cdot 1,9}{1 - \frac{35}{273}} = 1,73 \text{ г/м}^3;$$

– також, повітря теплового горища f_g , г/м³, за формулою (36).

Взявши приріст вмісту вологи Δf для будинків з газовими плитами, що дорівнює 4,0 г/м³:

$$f_g = f_{ext} + \Delta f = 1,73 + 4,0 = 5,73 \text{ г/м}^3;$$

– визначаємо парціальний тиск водяної пари повітря e_g , Па, в теплому горищі за формулою (38) /8/

$$e_g = \frac{5,73 \left(1 + \frac{15}{273} \right)}{0,794} = 7,613 \text{ гПа}$$

З додатку С (табл. 2) /8/ при рівності значень $E = e_g$

знаходимо температуру точки роси $t_d = 3,05 \text{ °С}$.

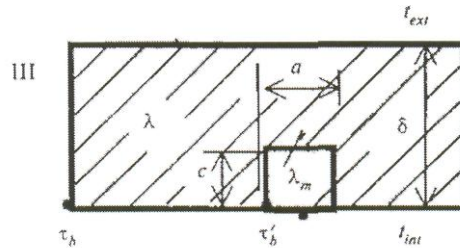
Отримані значення температури точки роси співставляємо з відповідними значеннями $\tau_{si}^{g,c}$ и $\tau_{si}^{g,w}$:

$$\tau_{si}^{g,c} = 13,5 > t_d = 3,05 \text{ °С}; \tau_{si}^{g,w} = 10,88 > t_d = 3,05 \text{ °С}.$$

Температура точки роси значно менша відповідних температур на внутрішніх поверхнях зовнішніх огорожень, отже, конденсат на внутрішніх поверхнях покриття і на стінах горища випадати не буде.

Висновок: Горизонтальні і вертикальні огороження теплового горища задовольняють нормативні вимоги теплового захисту будівлі.

Приклад 5. Визначити температуру на внутрішній поверхні цегляної кладки товщиною 510 мм з бетонним включенням шириною 100 мм, наведеною на рис.2.



Вихідні дані
Таблиця 1

№ з/п	Назва	Значення
1	Місце будівництва	Місто Б
2	Зона вологості за картою	нормальна
3	Режим вологості приміщення	нормальний
4	Умови експлуатації конструкції	Б
5	Температура внутрішнього повітря	+ 20 °С
6	Температура зовнішнього повітря	- 32 °С
7	Коефіцієнт теплосприйняття внутрішньої поверхні огороження	$\alpha_{int} = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$
8	Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої Поверхні огороження	$\alpha_{ext} = 23 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$
9	Розміри теплопровідного включення	$a = c = 100 \text{ мм}$

Послідовність розрахунку

Для неоднорідних огорожувальних конструкцій температуру внутрішньої поверхні за теплопровідним включенням, $^{\circ}\text{C}$, визначають за формулою (26)

$$\tau_{si} = t_{\text{int}} - \left[\frac{n \cdot (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{(R_0^{\text{con}} \cdot \alpha_{\text{int}})} \right] \cdot \left[1 + \eta \cdot \left(\frac{R_0^{\text{con}}}{R_0} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

де n – коефіцієнт, що береться залежно від умови зовнішньої поверхні огорожувальних конструкцій відносно зовнішнього повітря, взятого з табл. 6;

t_{int} – розрахована температура внутрішнього повітря $^{\circ}\text{C}$,

що дорівнює $+20^{\circ}\text{C}$; t_{ext} – розрахована температура зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$, відповідно дорівнює -32°C ;

R_0, R_0^{con} – опір теплопередачі з розтином огорожувальної конструкції, $\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, відповідно в місцях

теплопровідних включень і поза цими місцями.

Опір теплопередачі одношарової огорожувальної конструкції R , $\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, визначають за формулою (6)

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (2)$$

где δ – товщина огороження, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу шару, вказаного в додатку (Д).

Загальний опір багатошарової огорожувальної конструкції визначають за формулою

$$R_0 = R_{\text{si}} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{\text{se}},$$

де $R_{\text{si}} = 1/a_{\text{int}}$, a_{int} – коефіцієнт теплосприйняття внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$, дорівнює $8,7 \text{ Вт}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

$R_{\text{se}} = 1/a_{\text{ext}}$, a_{ext} – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, дорівнює $23 \text{ Вт}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

$R_1, R_2, \dots, R_n$ – термічний опір окремих шарів огорожувальної конструкції, що визначаються за формулою (2).

η – коефіцієнт, враховуючий схему теплопровідного включення в огорожувальну конструкцію

Спочатку визначаємо опір теплопередачі розтину огорожувальної конструкції R_0^{con} і з розтину теплопровідного включення R_0' :

$$R_0^{con} = \frac{0,51}{0,81} = 0,63 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

$$R_0 = \frac{0,41}{0,81} + \frac{0,1}{1,86} = 0,56 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Відповідно до рис. Н.1, що розглядається в прикладі теплопровідне включення відноситься до IV схеми і для нього, з табл. 9 цих правил, коефіцієнт $\eta = 0,38$.

Підставляємо знайдені значення R_0^{con} , R_0' и η в формулу (1) і визначаємо значення температури на внутрішній поверхні огороження з теплопровідного включення

$$\tau_{si} = 20 - \left[\frac{1 \cdot (20 - (-32))}{(0,63 \cdot 8,7)} \right] \cdot \left[1 + 0,26 \cdot \left(\frac{0,63}{0,56} - 1 \right) \right] = 20 - 9,49 \cdot 1,03 = 10,23 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Висновок: Температура на внутрішній поверхні стіни з теплопровідного включення дорівнює $\tau_{si} = 10,23 \text{ } ^\circ\text{C}$.

2.3. Розрахунок огорожувальних конструкцій на атмосферостійкість

Приклад 1.

Визначити достатність опору проникнення повітря 3-шарової стінової панелі, що складається із шарів, наведених в табл. 2.

Вихідні дані

Таблиця 1

№	Назва	Значення
1	Місце будівництва	Місто Б
2	Умови експлуатації	А
3	Зона вологості	Суха
4	Температура внутрішнього повітря	$t_{int} = +20$ $^\circ\text{C}$

5	Температура холодної п'ятиденки	$t_{ext} = - 26$ °C
6	Висота будівлі від поверхні землі до верху карнизу	$H = 37$ м
7	Нормативне проникнення повітря огорожувальних Конструкцій	$G_n = 0,5$ кг/(м²·ч)

Послідовність розрахунку

Розрахунок проводиться у відповідності вимогам СНіП 23-02-03 і СП 23–101-04 методом співставлення фактичного опору

Проникнення повітря R_{inf}^{des} , що розглядається огорожувальної конструкції нормуючому опору R_{int}^{req} .

Відповідно до даних встановлюємо значення опорів проникнення повітря шарів стінової панелі (табл. 2).

Таблиця 2

№	Матеріали і конструкції	Товщина шару, мм	Опір проникнення повітря R_{int} , м²·ч·Па/кг
1	Залізобетон (суцільний без швів)	100	19620
2	Пінополістирол	100	79
3	Залізобетон (суцільний без швів)	100	19620

Фактичний опір проникнення повітря багат шарової огорожувальної конструкції R_{inf}^{des} , м² · год Па/кг визначається за формулою

$$R_{inf}^{des} = R_{inf\ 1} + R_{inf\ 2} + \dots + R_{inf\ n}, (1)$$

де $R_{inf\ 1}$, $R_{inf\ 2}$, $R_{inf\ n}$ - опір проникнення повітря окремих шарів огорожувальної конструкції, м²·ч·Па/кг.

Фактичний опір проникнення повітря R_{inf}^{des} має бути не меншою нормуючого опору проникнення повітря R_{inf}^{req} , що визначається за формулою

$$R_{inf}^{req} = \frac{\Delta p}{G_n}$$

де G_n – нормуюче проникнення повітря огорожувальних конструкцій, кг/(м²•ч), взята з табл. 11;

Δp – різниця тиску повітря на зовнішній і внутрішній поверхнях огорожувальних конструкцій, Па, розрахована за формулою

$$\Delta p = 0,55 \cdot H \cdot (\gamma_{ext} - \gamma_{int}) + 0,03 \cdot \gamma_{ext} \cdot v^2,$$

де H – висота будівлі (від рівня підлоги першого поверху до верху витяжної шахти), м;

γ_{ext} , γ_{int} – критична вага відповідно до зовнішнього і внутрішнього повітря, Н/м³, що визначається за формулою (14)

$$\gamma_{ext} = \frac{3463}{(273 + t_{ext})}$$

$$\gamma_{int} = \frac{3463}{(273 + t_{int})}$$

t_{ext} – розрахована температура зовнішнього повітря, °С;

t_{int} – розрахована температура внутрішнього повітря, °С;

v – максимальна з середніх швидкостей вітру за румбами за січень, взята з табл. 1.

Спочатку розраховуємо критичну вагу зовнішнього γ_{ext} і внутрішнього γ_{int} повітря

$$\gamma_{ext} = \frac{3463}{(273 + (-29))} = 14,19 \text{ Н/м}^3$$

$$\gamma_{int} = \frac{3463}{(273 + 20)} = 11,82 \text{ Н/м}^3$$

З табл. 1 встановлюємо максимальну з середніх швидкостей вітру за румбами за січень, яка для м. Б складає 5,1 м/с.

Підставляємо знайдене значення γ_{ext} , γ_{int} і v в формулу (3) і обчислюємо відмінність тиску повітря на зовнішній і внутрішній поверхнях огороження :

$$\Delta p = 0,55 \cdot 37 \cdot (14,19 - 11,82) + 0,33 \cdot (14,19) \cdot 5,1^2 = 179,77 \text{ Па}$$

Потім визначаємо потрібний опір проникнення повітря огорожувальної конструкції R_{inf}^{req} за формулою (2)

$$R_{\text{inf}}^{\text{req}} = \frac{179,77}{0,5} = 359,53 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па/кг}$$

Використовуючи дані табл. обчислюємо фактичний опір проникнення повітря розглядаючого огороження за формулою

$$R_{\text{inf}}^{\text{des}} = 19620 + 79 + 19620 = 39319 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па/кг}$$

Висновок: Умова, $R_{\text{inf}}^{\text{des}} = 39319 > R_{\text{inf}}^{\text{req}} = 359,53 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па/кг}$, виконується, тому, огорожа конструкції, що розглядається задовольняє з проникнення повітря вимогам СНіП 23-02-03.

2.4. Розрахунок огорожувальних конструкцій на проникнення пари

Приклад 1.

Визначити достатність опору проникнення пари шарової цегляної стіни, виконаної з матеріалів наведених в табл.2.

Вихідні дані

Таблиця 1

№	Назва	Значення
1	Місце будівництва	Місто Б
2	Умови експлуатації	А
3	Зона вологості	суха
4	Температура внутрішнього повітря	$t_{\text{int}} = +20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
5	Розрахована зимова температура	$t_{\text{ext}} = -26 \text{ }^{\circ}\text{C}$
6	Відносна вологість внутрішнього повітря	$\varphi_{\text{int}} = 55 \%$
7	Відносна вологість зовнішнього повітря найхолоднішого місяця	$\varphi_{\text{ext}} = 83 \%$
8	Коефіцієнт теплосприйняття внутрішньої поверхні огороження	$\alpha_{\text{int}} = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}$
9	Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огороження	$\alpha_{\text{ext}} = 23 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}$

Послідовність розрахунку

Розрахунок проводиться у відповідності до вимог СНіП 23-02-03 і СП 23-101-04 методом порівняння фактичного опору проникнення пари R_{vp}^{des} розглядаючого огороження з нормуючим опором проникнення пари R_{vp}^{req} . При цьому має виконуватися умова $R_{vp}^{des} \geq R_{vp}^{req}$.

Використовуючи додаток (Д), визначаємо теплотехнічні характеристики матеріалів огороження, за умови експлуатації огорожувальної конструкції – А (табл. 2).

Таблиця 2

Теплотехнічні характеристики матеріалів огорожувальних конструкцій

№	Назва матеріалу	γ_0 , кг/м ³	δ , м	λ , Вт/м · °С	R, м ² ·°С/В т	μ , мг/м·год·Па
1	2	3	4	5	6	7
1	Цегляна кладка зі звичайної глиняної цегли на цементно-піщаному Розчині	1800	0,38	0,70	0,543	0,11
2	Утеплювач – «Пінополістирол»	100	0,15	0,041	3,659	0,05
3	Цегляна кладка зі звичайної глиняної цегли на цементно-піщаному Розчині	1800	0,25	0,70	0,357	0,11

Згідно п. 9.1, примітка 3, площа можливої конденсації в багатошаровій конструкції співпадає з зовнішньою поверхнею утеплювача.

Опір проникнення пари R_{vp}^{des} , м²·год·Па/мг, огорожувальної конструкції (в межах від внутрішньої поверхні до площини можливої конденсації) повинна бути не менше нормуючого опору проникнення пари:

- нормуючий опір проникнення пари R_{vp1}^{req} , м²·год·Па/мг (з умови недопущення накопичення вологи в огорожувальній конструкції за річний період) визначеного за формулою (16)

$$R_{vp1}^{req} = \frac{(e_{int} - E) \cdot R_{vp}^e}{(E - e_{ext})},$$

- нормуючий опір проникнення пари R_{vp2}^{req} , м²·год·Па/мг, (з умови обмеження вологи в огорожувальній конструкції за період з негативними середніми місячними температурами зовнішнього повітря) визначеного за формулою (17)

$$R_{vp2}^{req} = \frac{0,0024 Z_0 (e_{int} - E_0)}{(\rho_w \delta_w \Delta W_{aw} + \eta)}, \quad (2)$$

де e_{int} – парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, при розрахованій температурі і відносній вологості цього повітря, визначеного за формулою (18)

$$e_{int} = \frac{\varphi_{int} \cdot E_{int}}{100},$$

де E_{int} – парціальний тиск насиченої пари, Па, при температурі t_{int} , °С, взятої з додатку (С) правил СП 23-101-04;

φ_{int} – відносна вологість внутрішнього повітря, що дорівнює 55 %;

E – парціальний тиск водяної пари, Па, в площині можливої конденсації за річний період експлуатації, визначеного за формулою (19)

$$E = \frac{(E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3)}{12},$$

де E_1, E_2, E_3 – парціальний тиск водяної пари, Па, взяті за температурою в площині можливої конденсації τ_c , встановленої при середній температурі зовнішнього повітря відповідно до зимового, весняно-осіннього і літнього періодів;

z_1, z_2, z_3 – тривалість, міс., зимового, весняно-осіннього і літнього періоду року, визначена за табл. 3 з розрахунку наступних умов:

а) до зимового періоду відносяться місяці з середніми температурами зовнішнього повітря нижче мінус 5°C ;

б) до весняно-осіннього періоду відносяться місяці з середніми температурами зовнішнього повітря від мінус 5°C до плюс 5°C ;

в) до літнього періоду відносяться місяці з середніми температурами повітря вище плюс 5°C .

R_{vp}^e – опір проникнення пари, $\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, частини огорожувальної конструкції, розміщеної між зовнішньою поверхнею огорожувальної конструкції і площиною можливої конденсації;

e_{ext} – середній парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря Па за річний період, визначений за табл. 7;

z_0 – тривалість, днів, періоду накопичення пари, що дорівнює періоду з негативними середніми місячними температурами зовнішнього повітря за табл. 3;

E_0 – парціальний тиск водяної пари, Па, в площині можливої конденсації, що визначається за середньою температурою зовнішнього повітря періоду місяців з негативними середніми місячними температурами;

ρ_w – щільність матеріалу зволожуючого шару, $\text{кг} / \text{м}^3$, в сухому стані;

δ_w – товщина зволожуючого шару огорожувальної конструкції, м;

Δw_{av} – критично допустимий приріст розрахункового відношення маси води в матеріалі зволожуючого шару, %, за період накопичення води z_0 ;

η – коефіцієнт, визначений за формулою (20)

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (E_0 - e_0^{ext}) \cdot z_0}{R_{vp}^e},$$

де e_0^{ext} – середній парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря, Па, періоду місяців з негативними середньомісячними температурами, визначені за табл. 7.

Тривалість періодів і їхня середня температура визначається за табл. 3, а значення температур в площині можливої конденсації t_i , що відповідає цим періодам, за формулою (74)

$$\tau_c = t_{\text{int}} - \frac{(t_{\text{int}} - t_i) \cdot (R_{si} + R_c)}{R_0},$$

де t_{int} , $^{\circ}\text{C}$ – розрахована температура повітря всередині;

t_i , $^{\circ}\text{C}$ – розрахована температура зовнішнього повітря і – го періоду,

Що дорівнює середній температурі відповідного періоду;

R_{si} – тиск теплопередачі внутрішньої поверхні огороження

$$R_{si} = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \frac{1}{8,7} = 0,115 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot \text{Вт};$$

R_c – термічний опір шару огороження в межах від внутрішньої поверхні до площини можливої конденсації;

R_0 – загальний опір теплопередачі огороження, визначеної за формулою (8)

$$R_0 = R_{si} + R_l + R_2 + \dots R_n + R_{se}, \quad (7)$$

R_{se} – термічний опір тепловіддачі огорожувальної конструкції, дорівнює $1/\alpha_{\text{ext}}$

$$R_{se} = \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}} = \frac{1}{23} = 0,043 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

R_l , R_2 , и R_n – термічний опір окремих шарів огорожувальної конструкції, визначеного за формулою (6)

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (8)$$

де δ_i – товщина і-го шару, м;

λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалу і-го шару, визначений за додатком (Д).

Використовуючи дані табл.1, за формулою (7) визначаємо величину

Загального термічного опору огорожувальної конструкції R_0

$$R_0 = 0,115 + 0,543 + 3,659 = 0,357 + 0,043 = 4,72 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Термічний опір шару огороження в межах від внутрішньої поверхні до площини можливої конденсації складає

$$R_c = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,38}{0,7} + \frac{0,15}{0,041} = 4,202 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}.$$

Для відповідних періодів року встановлюємо їхню тривалість z_i , міс, і середню температуру зовнішнього повітря t_i , $^\circ\text{C}$, а потім за формулою (6) для цих періодів розраховуємо температури в площині можливої конденсації τ_i для кліматичних умов м. Вороніж:

В зимовий період входить 3 місяці - (січень, лютий, грудень), $z_1 = 3$ міс..

$$t_1 = \frac{[(-9,8) + (-9,6) + (-6,2)]}{3} = -8,53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_1 = 20 - \frac{(20 + 8,53) \cdot (0,115 + 4,202)}{4,72} = -6,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

В весняно-осінній період входить 2 місяці - (березень, листопад), $z_2 = 2$ міс.

$$t_2 = \frac{[(-3,7) + (-0,6)]}{2} = -2,15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_2 = 20 - \frac{(20 + 2,5) \cdot (0,115 + 4,202)}{4,72} = -0,25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

В літній період входить 7 місяців - (квітень – жовтень),
 $z_3 = 7$ міс.

$$t_3 = \frac{[6,6 + 14,6 + 17,9 + 19,9 + 18,6 + 13,0 + 5,9]}{7} = 13,79 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_3 = 20 - \frac{(20 + 13,79) \cdot (0,115 + 4,202)}{4,72} = 14,32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

За додатком (С) для $t_{int} = 20^\circ\text{C}$ встановлюємо числове значення $E_{int} = 2338$ Па, а тоді за формулою (3) визначаємо тиск водяної пари внутрішнього повітря e_{int}

$$e_{int} = \frac{55 \cdot 2338}{100} = 1228 \text{ Па}$$

Для відповідних періодів за знайденими температурами (t_1 , t_2 , t_3) визначаємо за додатком (С) максимальний парціальний тиск (E_1 , E_2 , E_3) водяної пари: $E_1 = 372$ Па, $E_2 = 606$ Па, $E_3 = 1640$ Па і тоді за формулою (4) визначаємо парціальний тиск водяної пари E , Па, в площині можливої конденсації за річний період експлуатації огорожувальної конструкції

$$E = \frac{(366 \cdot 3 + 598 \cdot 2 + 1629 \cdot 7)}{12} = 1141 \text{ Па}$$

Обчислюємо опір проникнення пари R_{vp}^e , $\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, частини огорожувальної конструкції, розміщеної між зовнішньою поверхнею і площиною можливої конденсації.

$$R_{vp}^e = \frac{\delta}{\mu} = \frac{0,25}{0,11} = 2,27 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па} / \text{мг}$$

Середній парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря e_{ext} , Па, за річний період, відповідно до табл. 7, становить 790 Па.

За формулою (1) визначаємо нормуючий опір проникнення пари за умови недопущення накопичення вологи за річний період експлуатації

$$R_{vp1}^{req} = \frac{(1286 - 1141) \cdot 2,27}{1141 - 790} = 0,94 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$$

Для розрахунку нормуючого опору проникнення пари R_{vp2}^{req} з умови обмеження вологи за період з негативними середніми місячними температурами зовнішнього повітря спочатку

встановлюємо тривалість цього періоду $z_0 = 135$ діб. і його середню температуру $t_i = -6,3$ °С.

Визначаємо температуру τ_0 , °С в площині можливої конденсації для цього періоду

$$\tau_0 = 20 - \frac{(20 + 6,3) \cdot (0,115 + 4,202)}{4,72} = -4,05 \text{ °С}$$

Парціальний тиск водяної пари E_0 , Па, в площині можливої конденсації при $\tau_0 = -4,05$ °С дорівнює $E_0 = 437$ Па.

Відповідно п.9.1 в багат шаровій огорожувальній конструкції зволожувальним шаром є утеплювач ($\rho_w = 100$ кг/м³, $\gamma_w = 0,1$ м). Критично допустимий приріст розрахованого масового відношення води в матеріалі утеплювача, відповідно до табл. 12, складає

$$\Delta w_{aw} = 25 \text{ \%}.$$

Середня пружність водяної пари зовнішнього повітря періоду місяців з негативними середніми місячними температурами, за даними табл. 3 і 7, дорівнює $e_0^{ext} = 394$ Па.

Розрахунковий коефіцієнт η за формулою (5)

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (437 - 394) \cdot 135}{2,27} = 6,13$$

За формулою (2) визначаємо нормуючий опір проникнення пари за умови обмеження води в огорожувальній конструкції за період з негативними середніми місячними температурами зовнішнього повітря

$$R_{vp2}^{req} = \frac{0,0024 \cdot 135 \cdot (1286 - 437)}{100 \cdot 0,1 \cdot 25 + 6,13} = 1,07 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

Відповідно вказівкам п.9.1 визначаємо опір проникнення пари R_{vp}^{des} в межах від внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції до площини можливої конденсації

$$R_{vp}^{des} = \frac{0,38}{0,11} + \frac{0,15}{0,05} = 3,45 + 3 = 7,45$$

Висновок: В зв'язку з тим, що опір проникнення пари частини огорожувальної конструкції, розміщеної між внутрішньою поверхнею огороження і площиною можливої конденсації $R_{vp}^{des} = 7,45$ м²·год·Па/мг вище нормуючих значень R_{vp1}

и R_{vp2} , тому дорівнює 0,94 і 1,07 м²· год· Па/мг, тому, розглянута огорожувальна конструкція відповідає вимогам СНіП 23-02-03. за умов проникнення пари.

Приклад 3.

Шляхом обчислення визначити чи задовольняє умови проникнення пари конструкція покриття, яка складається з наступних конструктивних шарів, розташованих за порядком зверху до низу:

- гідроізоляційний килим з рубітексу – 2 шари;
- покрівельна залізобетонна панель товщиною – 35 мм;
- вентиляційний повітряний прошарок товщиною – 50 мм;
- утеплювач з пінополістирольних плит товщиною - 100 мм;
- пароізоляція з рубітексу – 1 шар;
- залізобетонна плита перекриття товщиною – 220 мм.

Вихідні дані

Таблиця

№	Назва	Значення
1	Місто будівництва	Місто Б
2	Зона вологості	нормальна
3	Температура внутрішнього повітря	$t_{int} = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$
4	Температура холодної п'ятиденки	$t_{ext} = -32\text{ }^{\circ}\text{C}$
5	Відносна вологість внутрішнього Повітря	$\varphi_{int} = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$
6	Коефіцієнт теплосприйняття внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції	$\alpha_{int} = 8,7\text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$
7	Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огороження	$\alpha_{ext} = 12\text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$

Послідовність розрахунку

Розрахунок проводиться у відповідності до вимог СНіП 23-02-03 «Тепловий захист будівель» методом порівняння фактичного опору проникнення пари R_{vp3}^{des} розглянутого огороження з нормуючим опором проникнення пари R_{vp3}^{req} .

Нормуючий опір проникнення пари визначається за формулою (21)

$$R_{vp3}^{req} = 0,0012 \cdot (e_{int} - e_0^{ext}) \quad (1)$$

де e_0^{ext} – середній парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря, Па, періоду місяців з негативними середньомісячними температурами, визначеного в табл. 7;

e_{int} – парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, при розрахунковій температурі і відносній вологості цього повітря, що визначається за формулою (18)

$$e_{int} = \frac{\varphi_{int} \cdot E_{int}}{100}$$

де E_{int} – парціальний тиск насиченої водяної пари Па при температурі t_{int} (отриманого з додатку (С));

φ_{int} – відносна вологість внутрішнього повітря, %, отримана у відповідності з п. 5.9, дорівнює 55 %.

За формулою розраховуємо дійсний парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря приміщення

$$e_{int} = \frac{55 \cdot 2338}{100} = 1285,9 \text{ Па}$$

Відповідно встановлюємо місяці з середньомісячними негативними температурами, для цих місяців визначаємо значення дійсного парціального тиску зовнішнього повітря, за яким визначаємо величину середнього парціального тиску водяної пари зовнішнього повітря.

Для м. Казань до місяців з середньомісячними негативними температурами відносяться: січень, лютий, березень, листопад і грудень, для яких дійсна пружність водяної пари зовнішнього повітря складає відповідно 2,1; 2,2; 3,4; 4,4; і 2,8 гПа.

Звідси

$$e_0^{ext} = \frac{2,1 + 2,2 + 3,4 + 4,4 + 2,8}{5} = \frac{15,1}{5} = 5,03 \text{ гПа} = 503 \text{ Па}$$

Знаходимо нормуючий опір проникнення пари R_{vp3}^{req} за формулою (1)

$$R_{vp3}^{req} = 0,0012 \cdot (1285,9 - 503) = 0,94 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$$

Відповідно фактичний опір проникнення пари R_{vp}^{des} вентиляційного покриття (в межах від внутрішньої поверхні до вентиляційного повітряного прошарку) має бути не менше нормуючого опору проникнення пари R_{vp}^{req} , т.п. $R_{vp}^{des} \geq R_{vp}^{req}$.

Опір проникнення пари багатошарової огорожувальної конструкції

R_{vp}^{des} , відповідно дорівнює сумі опору

проникненню пари шарів з яких вона складається

$$R_{vp}^{des} = R_{vp1} + R_{vp2} + \dots + R_{vpn},$$

де R_{vp1} , R_{vp2} и R_{vpn} – опір проникнення пари окремих шарів огороження, визначається за формулою

$$R_{vp} = \frac{\delta}{\mu},$$

де δ – товщина огорожувального шару, м;

μ – коефіцієнт проникнення пари матеріалу шару огороження, наведеного в додатку (Д). Для наведеного прикладу він дорівнює:

- для залізобетону – $\mu = 0,11 \text{ м}^2 \cdot \text{г} \cdot \text{Па} / \text{мг}$;

- для пінополістиролу – $\mu = 0,03 \text{ м}^2 \cdot \text{г} \cdot \text{Па} / \text{мг}$.

Для листових матеріалів чисельне значення опору проникнення пари береться згідно додатку (Ш);

для рубітексу $R_{vp} = 1,1 \text{ м}^2 \cdot \text{г} \cdot \text{Па} / \text{мг}$.

Використовуючи формулу (3), обчислюємо чисельне значення R_{vp}^{des} покриття

$$R_{vp}^{des} = \frac{0,22}{0,03} + 1,1 + \frac{0,1}{0,05} = 7,33 + 1,1 + 2 = 10,43 \text{ м}^2 \cdot \text{г} \cdot \text{Па} / \text{мг}$$

Висновок: В зв'язку з тим, що фактичний опір проникнення пари огорожувальної конструкції $R_{vp}^{des} = 10,43 \text{ м}^2 \cdot \text{г} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ вище нормуючої величини $R_{vp3}^{req} = 0,94 \text{ м}^2 \cdot \text{г} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, тому, розглянута конструкція відповідає вимогам опору проникнення пари СНіП 23-02-03.

2.5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Номери завдань				№ пп	Номери завдань			
1	1	4	7	13	11	2	6	11	15
2	3	7	8	14	12	2	7	9	16
3	4	5	6	15	13	1	3	10	13
4	4	5	7	12	14	2	4	5	14
5	3	5	8	13	15	1	4	7	15
6	5	6	9	14	16	2	6	8	16
7	3	7	8	15	17	1	4	9	13
8	1	8	10	16	18	2	3	8	14
9	4	5	9	13	19	1	4	9	15
10	1	7	10	14	20	2	6	15	16

Завдання 1.

Визначити достатність опору теплопередачі зовнішньої цегляної стіни шаруватої кладки з внутрішнім утеплюючим шаром з пінополістирольних плит з об'ємною масою 100 кг/м^3 (для варіантів 1-10) и 40 кг/м^3 (для варіантів 11-20).

Варіант	Місце будівництва	Параметри кладки		
		X1	X2	X3
1	Львів	250	200	120
3	Ужгород	380	150	120
3	Луцьк	510	100	120
4	Чернігів	640	75	120
5	Кіровоград	640	50	120
6	Сімферополь	510	150	120
7	Донецьк	380	100	120
8	Київ	250	150	120
9	Івано-Франківськ	380	200	120
10	Одеса	510	150	120
11	Вінниця	640	100	120
12	Черкаси	250	200	120
13	Харків	380	150	120
14	Вінниця	510	100	120
15	Чернівці	640	75	120

16	Хмельницький	640	150	120
17	Дніпро	510	150	120
18	Херсон	380	100	120
19	Суми	250	150	120
20	Полтава	380	200	120

Завдання 2.

Для свого варіанту визначити достатність виконання санітарно-гігієнічних вимог стінових огорожею, характеристики якого наведені в завданні 1.

Завдання 3.

Визначити товщину утеплювача холодного горищного перекриття, що складається з з/б панелі $\delta = 100$ мм, пароізоляція - 1 шар рубітекс; цементно-піщаної стяжки $\delta = 30$ мм і утеплювача:

Варіант	Місце будівництва	Матеріал утеплювача	Об'ємна маса утеплювача кг/м ³
1	Львів	Пінопласт	125
2	Ужгород	-//-/-	100
3	Луцьк	Пінополіуретан	80
4	Чернігів	-//-/-	60
5	Кіровоград	-//-/-	40
6	Сімферополь	Пінополістирол	40
7	Донецьк	-//-/-	100
8	Київ	-//-/-	150
9	Івано-Франківськ	Плити мінераловатні	50
10	Одеса	-//-/-	100
11	Вінниця	-//-/-	200
12	Черкаси	-//-/-	300
13	Харків	Пінопласт	125
14	Вінниця	-//-/-	100
15	Чернівці	Пінополіуретан	80

16	Хмельницький	-//-//-	60
17	Дніпро	-//-//-	40
18	Херсон	Пінополістирол	40
19	Суми	-//-//-	100
20	Полтава	-//-//-	150

Завдання 4.

Для свого варіанту визначити достатність виконання санітарно-гігієнічних вимог горищним перекриттям холодного горища, характеристики якого наведені в завданні 3.

Завдання 5.

Перевірити можливість конденсації водяної пари на внутрішній поверхні зовнішньої стіни житлового будинку виконаного з одношарових керамзитобетонних панелей товщиною 400 мм, оштукатурених з внутрішньої сторони цементно-піщаним розчином товщиною 15 мм і офактурених із зовнішнього боку мармуровою крихтою товщиною 20 мм.

Варіант	Місце будівництва	Щільність керамзитобетону на керамзитовому піску, кг/м ³
1	Київ	600
2	Івано-Франківськ	600
3	Одеса	600
4	Вінниця	600
5	Черкаси	600
6	Харків	800
7	Вінниця	800
8	Чернівці	800
9	Хмельницький	800
10	Дніпро	800
11	Херсон	1000
12	Суми	1000

13	Полтава	1000
14	Луганськ	1000
15	Львів	1000
16	Ужгород	1200
17	Луцьк	1200
18	Чернігів	1200
19	Кіровоград	1200
20	Сімферополь	800

Завдання 6.

Перевірити виконання умови $\Delta t \leq \Delta t_n$ для горищного перекриття теплового горища 9-поверхового житлового будинку

Варіант	Місце будівництва	Варіант	Місце будівництва
1	Дніпро	11	Сімферополь
2	Херсон	12	Київ
3	Суми	13	Івано-Франківськ
4	Полтава	14	Одеса
5	Луганськ	15	Вінниця
6	Львів	16	Черкаси
7	Ужгород	17	Харків
8	Луцьк	18	Вінниця
9	Чернігів	19	Чернівці
10	Кіровоград	20	Хмельницький

Завдання 7.

Визначити графо-аналітичним методом розподіл температур, дійсної і максимальної пружності водяної пари в 3-х шаровій огорожувальній конструкції, що складається з:

- 1 шар - цегляна кладка $\delta = 380$ мм.
- 2 шар - пінополістирольний утеплювач $\delta = 150$ мм.
- 3 шар - цегляна кладка $\delta = 250$ мм.

Характеристика матеріалів:

1. Цегляна кладка зі звичайної глиняної цегли на цементно-піщаному розчині, $\gamma_0 = 1800$ кг / м³.

2. Пінополістирол, $\gamma_0 = 100 \text{ кг / м}^3$.

Варіант	Місце будівництва	Варіант	Місце будівництва
1	Сімферополь	11	Дніпро
2	Київ	12	Херсон
3	Івано-Франківськ	13	Суми
4	Одеса	14	Полтава
5	Вінниця	15	Луганськ
6	Черкаси	16	Львів
7	Харків	17	Ужгород
8	Вінниця	18	Луцьк
9	Чернівці	19	Чернігів
10	Хмельницький	20	Кіровоград

Завдання 8.

Визначити розрахункову температуру повітря в теплому підвалі, °С 9-поверхового житлового будинку. Висота підвалу - 2,5 м. Зовнішні стіни виконані з бетонних блоків товщиною 600 мм і заглиблення в ґрунт на 1,25 м. У підвалі проходить трубопровід опалювальної системи діаметром 100 мм з температурою теплоносія 95 ° С. Пол в підвалі бетонний. Будівля обладнана газовими плитами.

Варіант	Місце будівництва	Розміри підвалу		Довжина трубопроводу, м
		Ширина, м	Довжина, м	
1	Харків	10,5	15	30
2	Вінниця	10,5	18	36
3	Чернівці	10,5	21	42
4	Хмельницький	10,5	24	48
5	Дніпро	10,5	27	54
6	Херсон	10,5	30	60
7	Суми	10,5	33	66
8	Полтава	10,5	36	72
9	Луганськ	10,5	39	78

10	Львів	10,5	42	84
11	Ужгород	10,5	45	90
12	Луцьк	10,5	48	96
13	Чернігів	10,5	51	102
14	Кіровоград	12,0	24	48
15	Сімферополь	12,0	27	54
16	Донецьк	12,0	30	60
17	Київ	12,0	33	66
18	Івано- Франківськ	12,0	36	72
19	Одеса	12,0	39	78
20	Вінниця	12,0	42	84

Завдання 9.

Визначити необхідний опір теплопередачі покриття теплого горища, $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$, 9-поверхового житлового будинку, обладнаного газовими приладами. У теплому горищі проходить трубопровід опалювальної системи діаметром 100 мм при температурі теплоносія 95°C . Висота зовнішніх стін теплого горища становить 2м. Розміри горища і діаметр трубопроводів наведені в таблиці.

Варіант	Місце будівництва	Розміри горища		Довжина трубопроводу, м
		Ширина, м	Довжина, м	
1	Чернівці	20	12	40
2	Хмельницький	22	12	44
3	Дніпро	24	12	48
4	Херсон	26	12	52
5	Суми	28	12	56
6	Полтава	30	12	60
7	Луганськ	32	12	64
8	Львів	34	12	68
9	Ужгород	20	15	40
10	Луцьк	22	15	44
11	Чернігів	24	15	48

12	Кіровоград	26	15	52
13	Сімферополь	28	15	56
14	Київ	30	15	60
15	Івано-Франківськ	32	15	64
16	Одеса	34	15	68
17	Вінниця	20	18	40
18	Черкаси	22	18	44
19	Харків	24	18	48
20	Вінниця	26	18	52

Завдання 10.

Для свого варіанту за даними завдання 9 перевірити зовнішні стіни теплового горища на невинпадання конденсау на їх внутрішній поверхні.

Завдання 11.

Для свого варіанту за даними завдання 9 визначити температуру точки роси для теплового горища 9-поверхового житлового будинку.

Завдання 12.

Розрахунковим шляхом визначити чи задовольняють умовам паропроникнення конструкція покриття, що складається з наступних конструктивних елементів:

- 4 шари рубітексу
- цементна стяжка $\delta = 20$ м
- утеплювач - (табл)
- пароізоляція - шар руберойду
- залізобетонна пустотна плита

Варіант	Місце будівництва	Матеріал утеплювача	Щільність утеплювача кг/м ³
1	Львів	Пінопласт	125
2	Ужгород	-//-/-	100

3	Луцьк	Пінополіуретан	80
4	Чернігів	-//-/-	60
5	Кіровоград	-//-/-	40
6	Сімферополь	Пінополістирол	40
7	Донецьк	-//-/-	100
8	Київ	-//-/-	150
9	Івано- Франківськ	Плити мінераловатні	50
10	Одеса	-//-/-	100
11	Вінниця	-//-/-	200
12	Черкаси	-//-/-	300
13	Харків	Пінопласт	125
14	Вінниця	-//-/-	100
15	Чернівці	Пінополіуретан	80
16	Хмельницький	-//-/-	60
17	Дніпро	-//-/-	40
18	Херсон	Пінополістирол	40
19	Суми	-//-/-	100
20	Полтава	-//-/-	150

Завдання 13.

Визначити достатність опору паропроникності (з умови неприпустимість накопичення вологи за річний період) для шаруватої цегляної стіни, що складається з:

- 1 шар - цегляної кладки $\delta = 380$ мм.
- 2 шар - пінополістирольного утеплювача $\delta = 150$ мм.
- 3 шар - цегляної кладки $\delta = 250$ мм.

Характеристика матеріалів:

- 1. Цегляна кладка зі звичайної глиняної цегли на цементно-піщаному розчині, $\gamma_0 = 1800$ кг / м³.
- 2. Пінополістирол, $\gamma_0 = 100$ кг / м³

Варіант	Місце будівництва	Варіант	Місце будівництва
1	Сімферополь	11	Дніпро

2	Київ	12	Херсон
3	Івано-Франківськ	13	Суми
4	Одеса	14	Полтава
5	Вінниця	15	Луганськ
6	Черкаси	16	Львів
7	Харків	17	Ужгород
8	Вінниця	18	Луцьк
9	Чернівці	19	Чернігів
10	Хмельницький	20	Кіровоград

Завдання 14.

Для свого варіанту визначити достатність опору паропроникності (з умови обмеження вологи за період з негативними середньомісячними температурами зовнішнього повітря) для огорожувальної конструкції, характеристики якої наведені в завданні 13.

Завдання 15.

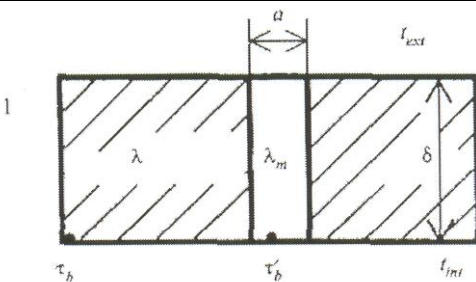
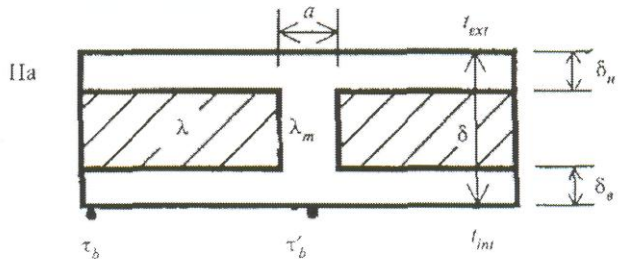
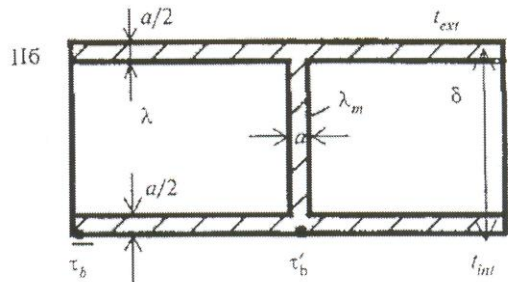
Визначити достатність опору повітропроникності стінової панелі, що складається з 2-х шарів залізобетону $\delta = 100$ мм і внутрішнього шару утеплювача з пінополістиролу товщиною 100 мм.

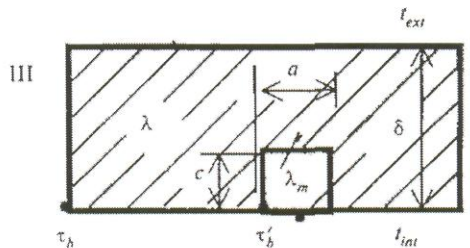
Варіант	Місце будівництва	Висота будівлі від поверхні землі до верху карниза
1	Чернівці	10
2	Хмельницький	13
3	Дніпро	16
4	Херсон	19
5	Суми	22
6	Полтава	25
7	Луганськ	28
8	Львів	31
9	Ужгород	34
10	Луцьк	37

11	Чернігів	40
12	Кіровоград	37
13	Сімферополь	34
14	Київ	31
15	Івано-Франківськ	28
16	Одеса	25
17	Вінниця	22
18	Черкаси	19
19	Харків	16
20	Вінниця	13

Завдання 16.

Визначити температуру на внутрішній поверхні цегляної кладки товщиною 510 мм з бетонним включенням шириною 100 мм для наступних варіантів:

Варіант	Місце будівництва	Конструкція огороження
1	Чернівці	
2	Хмельницький	
3	Дніпро	
4	Херсон	
5	Суми	
6	Полтава	
7	Луганськ	
8	Львів	
9	Ужгород	
10	Луцьк	
11	Чернігів	
12	Кіровоград	
13	Сімферополь	
14	Київ	
15	Івано-Франківськ	

16	Одеса	
17	Вінниця	
18	Черкаси	
19	Харків	
20	Вінниця	

3. ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

В сучасних умовах нового будівництва, реконструкції та модернізації будівель вже на першому етапі виникає необхідність перевірки енергозберігаючих властивостей зовнішніх огорожувальних конструкцій.

Проблема теплозахисту і дбайливого витрачання енергії стала сьогодні домінуючою в будівельній галузі не тільки нашої країни, а й країн усього світу у зв'язку зі станом світової енергетики та економіки.

В Україні з 1 квітня 2007р. вступили в силу нові норми ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» [1] та з 1 липня 2013р. Зміна №1 до ДБН В.2.6- 31: 2006 [2]. Цими документами визначено межі значень нормативного опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій незалежно від їх матеріалу, як це було в попередніх нормах.

Нижче подано терміни, вжиті в цих нормах, та визначення позначених ними понять.

Теплоізоляційна оболонка будинку	- система огорожувальних конструкцій будинку, що забезпечує збереження теплоти для опалення приміщень
Непрозорі конструкції	- ділянки теплоізоляційної оболонки будинку (стіни, покриття, перекриття тощо), до складу яких входить один і більше шарів матеріалів, що не пропускають видиме світло
Світлопрозорі конструкції	- ділянки теплоізоляційної оболонки будинку (вікна, балконні та входні двері, вітражі, фасадні системи, вітрини, ліхтарі тощо), що пропускають видиме світло
Опір теплопередачі	величина, що визначає здатність конструкції чинити опір тепловому потоку, що через неї проходить, та є зворотною до коефіцієнту теплопередачі

Тепло- провідність	- кількість теплоти, що передається через одиницю площі (м^2) шару матеріалу за одиницю часу (с) при стаціонарному градієнті температур 1К/м
Коефіцієнт теплопередачі	- коефіцієнт, що визначає кількість теплоти, що передається через одиницю площі (м^2) конструкції за одиницю часу при різниці температур середовищ, що їх розділяє конструкція, яка дорівнює 1 К
Теплоємність масова	- кількість теплоти, яку необхідно підвести чи відібрати від 1 кг матеріалу, щоб змінити його температуру на 1 К
Коефіцієнт теплостійкості	- коефіцієнт, що визначає величину зміни температури у матеріалі при гармонійній зміні температури зовнішнього середовища з періодом 24 год.
Коефіцієнт паро- проникності	- коефіцієнт, що визначає кількість вологи, що передається у вигляді пари через одиницю площі (м^2) шару матеріалу за одиницю часу (год) при одиничному градієнті перепаду парціальних тисків водяної пари (1 Па/м)
Коефіцієнт повітро- проникності	- коефіцієнт, що визначає кількість повітря, що передається через одиницю площі (м^2) шару матеріалу за одиницю часу (год) при одиничному градієнті перепаду тисків повітря (1 Па/м)
Коефіцієнт тепловіддачі	- коефіцієнт, що визначає кількість теплоти, яка сприймається чи віддається одиницею площі (м^2) конструкції за одиницю часу при різниці температури середовища і температури поверхні конструкції, яка дорівнює 1 К
Коефіцієнт теплотасвоєння	- Коефіцієнт, що визначає зміну температури матеріалу при його розташуванні в конструкції, при гармонійній зміні температури зовнішнього середовища з періодом 24 години

Основне поле конструкції	- масив огорожувальної конструкції, що визначає її опір теплопередачі і не має теплопровідних включень
Теплопровідне включення	- елемент огорожувальної конструкції, що розташований в її об'ємі паралельно напрямку теплового потоку, який має термічний опір менший від термічного опору основного поля більш ніж на 20 %
Термічна неоднорідність	наявність зон загальною площею більш ніж 2% від внутрішньої поверхні конструкції з температурами, відмінними від середньозваженої температури основного поля більше ніж на 2 0С
Термічно однорідна огорожувальна конструкція	- одношарова чи багатошарова огорожувальна конструкція, що не має у своєму об'ємі теплопровідних включень
Термічно неоднорідна огорожувальна конструкція	- огорожувальна конструкція окремого приміщення, що має у своєму об'ємі теплопровідні включення, які призводять до термічної неоднорідності
Багатошарова огорожувальна конструкція	- огорожувальна конструкція, що складається по своєму перерізу з шарів матеріалу, теплофізичні характеристики яких відрізняються одне від одного не менше ніж на 20%
Приведений опір теплопередачі	середньозважений по площі опір теплопередачі термічно неоднорідної огорожувальної конструкції, в якому враховується двовірний перенос теплоти у перерізі конструкції і який визначається на підставі розрахунків чи результатів випробувань конструкції

Лінійний коефіцієнт теплопередачі	- коефіцієнт теплопередачі термічно неоднорідної огорожувальної конструкції, що враховує кількість теплоти, що передається через теплопровідне включення при різниці температур середовищ, що розділяє конструкція, в 1 К, яка приведена до 1 м довжини теплопровідного включення і визначається на підставі розрахунків чи результатів випробувань конструкцій
Розрахункові умови експлуатації	- розрахункові температура і вологість матеріалу, які визначають перенесення тепла і вологи через матеріал при його експлуатації в огорожувальних конструкціях
Термо-модернізація	- комплекс ремонтно-будівельних робіт, спрямованих на підвищення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій і забезпечення їхньої відповідності чинним нормам
Теплостійкість конструкції	- властивість конструкції зберігати відносну стабільність температури при коливаннях теплового потоку
Теплостійкість приміщень	властивість конструкцій приміщення зберігати відносну стабільність температури приміщення при коливаннях температури оточуючого середовища та теплової енергії на опалення
Замкнений повітряний прошарок	- прошарок, що надійно огорожений від повітря приміщення чи вулиці конструктивними шарами зі спеціальною герметизацією притворів і швів
Енергетичний паспорт будинку	- документ, що містить геометричні, енергетичні й теплотехнічні характеристики будинків, що спроектовані або експлуатуються, теплоізоляційної оболонки будинків, та встановлює їх відповідність до вимог нормативних документів

Енергетична ефективність будинку	- властивість теплоізоляційної оболонки будинку та його інженерного обладнання забезпечувати оптимальні мікрокліматичні умови приміщень при фактичних або розрахункових витратах теплової енергії на опалення будинків
Питомі витрати теплової енергії	- показник енергетичної ефективності будинку, що визначає витрати теплової енергії на забезпечення оптимальних теплових умов мікроклімату в приміщеннях і відноситься до одиниці опалюваної площі або об'єму будинку
Клас енергетичної ефективності	- рівень енергетичної ефективності будинку за інтервалом значень питомої витрати теплової енергії на опалення будинку за опалювальний період
Відбивна ізоляція	- дво- або тришаровий матеріал, до складу якого входить теплоізоляційний шар з теплопровідністю не більше 0,05 Вт/(м К) з приформованим до його поверхні тонкого шару (шарів) матеріалів з високою відбивною властивістю (коефіцієнт чорноти 0,04-0,05)
Коефіцієнт скління	- відношення площі світлопрозорих конструкцій до загальної площі фасадної частини будинку
Термін ефективної експлуатації (розрахункова довговічність) тепло-ізоляційних виробів	- експлуатаційний період, протягом якого виробу зберігають свої теплоізоляційні властивості на рівні проектних показників, що підтверджується результатами лабораторних випробувань і зазначено в умовних роках експлуатації (терміну служби)

4. ДОДАТКИ

Додаток 1

Карта-схема температурних зон України



Додаток 2

Розрахункові параметри зовнішнього повітря для деяких міст України

Місто	Розрахункова зимова температура повітря, °C			Середня швидкість повітря, м/с	Зона вологості	Кількість градусо-днів опалювального періоду, S
	t_5 забезпеч. ч. 0,92	$t_{хд}$ забезпеч. ч. 0,92	t_3 холодного терміну			
1	2	3	4	5	6	7
Бердянськ	-19	-25	-7	-	суха	3024
Вінниця	-21	-26	-10	5,2	норм.	3610
Джанкой	-17	-25	-5	1	суха	2640
Дніпропетр	-23	-26	-9	5,7	суха	3325
Донецьк	-23	-29	-10	6,2	суха	3623
Євпаторія	-16	-20	-3	7,1	суха	2324
Житомир	-22	-25	-9	5,4	норм.	3610
Запоріжжя	-22	-25	-8	2,1	суха	3202
Івано-	-20	-22	-9	5,8	норм.	3330

Ізмаїл	-14	-20	-5	7	суха	2812
Керч	-15	-19	-4	9	суха	2174
Київ	-22	-26	-10	4,2	норм.	3572
Кіровоград	-21	-25	-9	5,7	суха	3515
Конотоп	-24	-28	-11	4,3	норм.	3919
Луганськ	-25	-29	-10	5,2	норм.	3528
Луцьк	-20	-23	-8	6,3	норм.	3403
Львів	-19	-23	-9	5,1	норм.	3476
Любашевк	-20	-24	-9	-	норм.	3311
Маріуполь	-23	-25	-9	8	норм.	3253
Миколаїв	-20	-22	-7	10	суха	2904
Одеса	-18	-21	-6	11	суха	2805
Полтава	-23	-27	-11	6,2	суха	3721
Рівно	-21	-25	-9	5,1	норм.	3555
Севастопол	-11	-14	0	9	суха	2015
Сімферопо	-15	-20	-4	8	суха	2544
Слав'янськ	-23	-29	-10	5,2	суха	3585
Суми	-24	-28	-12	5,0	норм.	3997
Тернопіль	-21	-25	-9	5,1	норм.	3515
Ужгород	-18	-22	-6	4,3	норм.	2657
Умань	-21	-26	-9	5,7	суха	3572
Феодосія	-15	-19	-2	6	суха	2174
Харків	-23	-28	-11	6,1	суха	3799
Херсон	-19	-22	-7	8	суха	2906
Хмельниць	-21	-25	-9	5,7	норм.	3553
Черкаси	-22	-26	-9	1	суха	3591
Чернігів	-23	-27	-10	3,8	норм.	3763
Чернівці	-20	-25	-9	5,4	суха	3228
Ялта	-6	-8	+1	8,7	суха	1613

Додаток 3

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будинків,
 $R_{q \min}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$

№ поз.	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{q \min}$, для температурної			
		I	II	III	IV
1	Зовнішні стіни	2,8	2,5	2,2	2,0
2а*	Покриття й перекриття неопалюваних горищ	4,95	4,5	3,9	3,3
2б		3,3	3,0	2,6	2,2
3	Перекриття над проїздами та холодними підвалами, що межують із холодним повітрям	3,5	3,3	3,0	2,5

4	Перекриття над неопалюваними підвалами, що розташовані вище рівня землі	2,8	2,6	2,2	2,0
5а*	Перекриття над неопалюваними підвалами, що розташовані нижче рівня землі*	3,75	3,45	3,0	2,7
5б		2,5	2,3	2,0	1,8
6а*	Вікна, балконні двері, вітрини, вітражі, світлопрозорі фасади	0,6	0,56	0,5	0,45
6б		0,5	0,5	0,5	0,45
7	Вхідні двері в багатоквартирні житлові будинки та в громадські будинки	0,44	0,41	0,39	0,32
8	Вхідні двері в малоповерхові будинки та в квартири, що розташовані на перших поверхах багатоповерхових будинків	0,6	0,56	0,54	0,45
9	Вхідні двері в квартири, що розташовані вище першого поверху	0,25	0,25	0,25	0,25
* Для будинків садибного типу і будинків до 4 поверхів включно					

Додаток 4

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій промислових будинків, $R_{q \min}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$

Вид огорожувальної конструкції та тепловологісний режим експлуатації будинків	Значення $R_{q \min}$, для температурної зони, $\text{м}^2 \text{К/Вт}$			
	I	II	III	IV
Зовнішні непрозорі стіни будинків - з сухим і нормальним режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$	1,5	1,3	1,2	0,7
	2,0	1,8	1,7	1,2
- з вологим і мокрим режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$	1,6	1,4	1,2	0,9
	2,2	2,0	1,8	1,5
- з надлишками тепла (більше ніж 23 Вт/м^3)	0,55	0,45	0,45	0,35

Покриття й перекриття будинків				
- з сухим і нормальним режимом з конструкціями з $D > 1,5$	1,6	1,5	1,3	0,9
$D \leq 1,5$	2,1	2,0	1,8	1,1
- з вологим і мокрим режимом з конструкціями з:				
$D > 1,5$	1,6	1,5	1,4	1,2
$D \leq 1,5$	1,8	1,7	1,5	1,4
- з надлишками тепла (більше 23 Вт/м³)	0,55	0,45	0,45	0,35
Перекриття над проїздами й підвалами:				
з конструкціями з $D > 1,5$	1,8	1,7	1,6	1,4
з конструкціями з $D \leq 1,5$	2,2	2,0	1,9	1,7
Двері й ворота будинків:				
- з сухим і нормальним режимом	0,55	0,55	0,5	0,42
- з вологим і мокрим режимом	0,72	0,65	0,6	0,54
- з надлишками тепла (більше 23 Вт/м³)	0,2	0,2	0,2	0,2
Вікна й зенітні ліхтарі будинків:				
- із сухим і нормальним режимом	0,42	0,39	0,39	0,32
- з вологим і мокрим режимом	0,45	0,42	0,42	0,35
- з надлишками тепла (більше 23 Вт/м³)	0,18	0,18	0,18	0,18

Додаток 5

Розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої $\alpha_{в}$ та зовнішньої $\alpha_{з}$ поверхонь огорожувальних конструкцій

Тип конструкції	Коефіцієнти тепловіддачі, Вт / (м² °С)	
	$\alpha_{в}$	$\alpha_{з}$
Зовнішні стіни, дахи, покриття, перекриття над проїздами плоскі та з ребрами при відношенні висоти ребра h до відстані між гранями b сусідніх ребер		
$h/b \leq 0,3$	8,7	23
$h/b > 0,3$	7,6	23
Перекриття горищ та холодних підвалів	8,7	12
Перекриття над холодними підвалами та	8,7	6

технічними поверхами, що розташовані нижче рівня землі		
Вікна, балконні двері, вітражі та світлопрозорі фасадні системи	8,0	23
Зенітні ліхтарі	9,9	23

Додаток 6
Коефіцієнт n

Огороджуючі конструкції	Коефіцієнт
1. Зовнішні стіни та покриття (в тому числі вентильовані зовнішнім повітрям), перекриття горищні (з кровлею із штучних матеріалів)	1
2. Перекриття над холодними підвалами, до яких надходить зовнішнє повітря, перекриття горищні (з кровлею із рулонних матеріалів)	0,9
3. Перекриття над неопалювальними підвалами без світлових отворів	0,6
4. Перекриття над підвалами з світловими отворами	0,75

Додаток 7

Тепловологісний режим приміщень будинків і споруд в опалювальний період

Градація вологісного режиму приміщень

Вологісний режим	Вологість внутрішнього повітря, $\varphi_{\text{в}}$, %, при		
	$t_{\text{в}} \leq 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$12 < t_{\text{в}} \leq 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{в}} > 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Сухий	$\varphi_{\text{в}} < 60$	$\varphi_{\text{в}} < 50$	$\varphi_{\text{в}} < 40$
Нормальний	$60 \leq \varphi_{\text{в}} \leq 75$	$50 \leq \varphi_{\text{в}} \leq 60$	$40 \leq \varphi_{\text{в}} \leq 50$
Вологий	$75 < \varphi_{\text{в}}$	$60 < \varphi_{\text{в}} \leq 75$	$50 < \varphi_{\text{в}} \leq 60$
Мокрий	-	$75 < \varphi_{\text{в}}$	$60 < \varphi_{\text{в}}$

Розрахункові значення температури й вологості повітря приміщень

Призначення будинку	Розрахункова температура внутрішнього повітря, $t_{\text{в}}$, $^{\circ}\text{C}$	Розрахункове значення відносної вологості, $\varphi_{\text{в}}$, %
Житлові будинки	20	55

Громадські адміністративні будинки	20	50 - 60
Лікувальні й дитячі навчальні установи	21	50
Дошкільні установи	22	50

Примітка: при проектуванні огорожувальних конструкцій окремих приміщень розрахункові параметри температури й вологості повітря уточнюються з урахуванням вимог інших чинних нормативних документів

Додаток 8

Розрахункові значення для визначення точки роси в огорожувальних конструкцій.

Температура, внутрішнього повітря, в t °C	Точки роси, при вологості внутрішнього повітря, % t _p 0C							
	40	45	50	55	60	65	70	75
-5	-15,3	-14,04	-12,9	-11,84	-10,83	-9,96	-9,11	-8,31
-4	-14,4	-13,1	-11,93	-10,84	-9,89	-8,99	-8,11	-7,34
-3	-13,42	-12,16	-10,98	-9,91	-8,95	-7,99	-7,16	-6,37
-2	-12,58	-11,22	-10,04	-8,98	-7,95	-7,04	-6,21	-5,4
-1	-11,61	-10,28	-9,1	-7,98	-7,0	-6,09	-5,21	-4,43
0	-10,65	-9,34	-8,16	-7,05	-6,06	-5,14	-4,26	-3,46
1	-9,85	-8,52	-7,32	-6,22	-5,21	-4,26	-3,4	-2,58
2	-9,07	-7,42	-6,52	-5,39	-4,38	-3,44	-2,56	-1,74
3	-8,22	-6,88	-5,66	-4,53	-3,52	-2,57	-1,69	-0,88
4	-7,45	-6,07	-4,84	-3,74	-2,7	-1,75	-0,87	-0,01
5	-6,66	-5,26	-4,03	-2,91	-1,87	-0,92	-0,01	0,94
6	-5,81	-4,45	-3,22	-2,08	-1,04	-0,08	0,94	1,89
7	-5,01	-3,64	-2,39	-1,25	-0,21	0,87	1,9	2,85
8	-4,21	-2,83	-1,56	-0,42	-0,72	1,82	2,86	3,85
9	-3,41	-2,02	-0,78	0,46	1,66	2,77	3,82	4,81
10	-2,62	-1,22	0,08	1,39	2,6	3,72	4,78	5,77
11	-1,83	-0,42	0,98	1,32	3,54	4,68	5,74	6,74
12	-1,04	0,44	1,9	3,25	4,48	5,63	6,7	7,71
13	-0,25	1,35	2,82	4,18	5,42	6,58	7,66	8,68
14	0,63	2,26	3,76	5,11	6,36	7,53	8,62	9,64
15	1,51	3,17	4,68	6,04	7,3	8,48	9,58	10,6

16	2,41	4,08	5,6	6,97	8,24	9,43	10,54	11,57 8
17	3,31	4,99	6,52	7,9	9,18	10,37	11,5	12,54
18	4,2	5,9	7,44	8,83	10,12	11,32	12,46	13,51
19	5,09	6,81	8,36	9,76	11,06	12,27	1,42	14,48
20	6,0	7,72	9,28	10,69	12,0	13,22	14,38	15,44
21	6,9	8,62	10,2	11,62	12,94	14,17	15,33	16,4
22	7,69	9,52	11,12	12,56	13,88	15,12	16,28	17,37
23	8,68	10,43	12,03	13,48	14,48	16,07	17,23	18,34
24	9,57	11,34	12,94	14,41	15,76	17,02	18,19	19,3
25	10,46	12,75	13,86	15,34	16,7	17,97	19,15	20,26
26	11,35	13,15	14,78	16,27	17,64	18,95	20,11	21,22
27	12,24	14,05	15,7	17,19	18,57	19,87	21,06	22,18
28	13,13	14,95	16,61	18,11	19,5	20,81	22,01	23,14
29	14,02	15,86	17,52	19,04	20,44	21,75	22,96	24,11
30	14,92	16,77	18,44	19,97	21,38	22,69	23,92	25,08

Додаток 9

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\Delta t_{сг}$, °С

Призначення будинку	Вид огорожувальної конструкції		
	Стіни (зовнішні, внутрішні)	Покриття та переkritтя горищ	Переkritтя над проїздами та підвалами
Житлові будинки, дитячі установи, школи, інтернати	4,0	3,0	2,0
Громадські будинки, крім зазначених вище, адміністративні та побутові, за виключенням приміщень з вологим або мокрим режимом експлуатації	5,0	4,0	2,5
Виробничі будинки з сухим та нормальним режимом експлуатації	7,0	5,0	
Виробничі будинки з вологим та мокрим режимом експлуатації	$t_{в} - t_{п}$	$0,8(t_{в} - t_{п})$	

Виробничі будинки з надлишками тепла (більше 23 Вт/м ³)	12	12	
---	----	----	--

Додаток 10

Умови експлуатації огорожуючих конструкцій залежно від вологісного режиму приміщень та зон вологості

Вологісний режим приміщень	Умови експлуатації А і Б в зонах вологості		
	сухий	нормальний	вологий
сухий	А	А	Б
нормальний	А	Б	Б
вологий	Б	Б	Б

Примітка. Для житлових приміщень приймають нормальний вологісний режим ($\varphi_n = 50-60\%$).

Додаток 11

Розрахункові теплофізичні характеристики будівельних матеріалів

Значення розрахункових теплофізичних характеристик

Назва матеріалу		Характеристика в сухому стані			Розрахунковий вміст		Розрахункові характеристики в умовах експлуатації				
		густина, ρ_0 , кг/м ³	питома теплоємність, c_0 , кДж/(кг К)	теплопровідність, λ_0 , Вт/(м К)	вологи за масою в умовах експлуатації w , %		теплопровідність, λ_p , Вт/(м К)		коефіцієнт теплоспоживання, s , Вт/(м ² К)		коефіцієнт паропроникності, μ , м
А	Б	А	Б	А	Б	А,Б					
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1.ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ											
1.1 Волокнисті матеріали											
1	Плити з мінеральної	75	0,84	0,047	2	5	0,055	0,062	0,55	0,61	0,55
		125	0,84	0,049	2	5	0,060	0,070	0,73	0,82	0,49

	вати на синтетичному зв'язуючому негофрованої структури	150	0,84	0,044	2	5	0,055	0,066	0,75	0,87	0,45
		175	0,84	0,046	2	5	0,058	0,072	0,83	0,98	0,41
		200	0,84	0,049	2	5	0,064	0,081	0,93	1,11	0,37
2	Плити з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому гофрованої структури	175	0,84	0,051	2	5	0,065	0,079	0,88	1,04	0,40
		200	0,84	0,053	2	5	0,071	0,087	0,98	1,16	0,36
3	Плити мінераловатні гофрованої структури	70	0,84	0,042	2	5	0,050	0,055	0,49	0,54	0,54
		100	0,84	0,043	2	5	0,053	0,060	0,60	0,68	0,48
		170	0,84	0,045	2	5	0,059	0,070	0,82	0,97	0,41
4	Плити з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому (вміст зв'язуючого за масою від 6,5% до 8,0 %)	150	0,84	0,044	2	5	0,054	0,064	0,76	0,88	0,45
		170	0,84	0,045	2	5	0,055	0,065	0,82	0,97	0,42
		180	0,84	0,046	2	5	0,056	0,066	0,86	1,02	0,40
5	Плити з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому (вміст зв'язуючого за масою від 4,0% до 5,0 %)	20	0,84	0,044	0,5	1,0	0,048	0,049	0,25	0,26	0,56
		30	0,84	0,043	0,5	1,0	0,046	0,047	0,30	0,31	0,55
		50	0,84	0,042	0,5	1,0	0,045	0,046	0,39	0,40	0,54
		80	0,84	0,041	0,5	1,0	0,044	0,045	0,50	0,53	0,49
		110	0,84	0,042	0,5	1,0	0,045	0,047	0,56	0,57	0,45
		190	0,84	0,043	0,5	1,0	0,047	0,052	0,78	0,82	0,32
6	Плити з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому (вміст зв'язуючого за масою від 3,5% до 4,2 %)	30	0,84	0,04	0,5	1,0	0,044	0,045	0,29	0,30	0,55
		50	0,84	0,039	0,5	1,0	0,041	0,042	0,36	0,37	0,52
		70	0,84	0,037	0,5	1,0	0,039	0,040	0,42	0,43	0,50
		110	0,84	0,038	0,5	1,0	0,043	0,044	0,55	0,56	0,45
		140	0,84	0,039	0,5	1,0	0,044	0,045	0,62	0,61	0,41
		180	0,84	0,040	0,5	1,0	0,047	0,048	0,72	0,75	0,34
		220	0,84	0,041	0,5	1,0	0,048	0,050	0,81	0,84	0,32

7	Плити негорючі теплоізоляційні базальто-волокнисті	40	0,84	0,045	2	5	0,053	0,059	0,58	0,66	0,53
		90	0,84	0,041	2	5	0,050	0,054	0,48	0,54	0,50
8	Мати прошивні із мінеральної вати теплоізоляційні	75	0,84	0,048	2	5	0,060	0,064	0,55	0,61	0,49
		125	0,84	0,050	2	5	0,064	0,070	0,73	0,82	0,30
9	Мати мінераловатні прошивні будівельні	70	0,84	0,041	2	5	0,049	0,054	0,48	0,54	0,49
		95	0,84	0,043	2	5	0,053	0,059	0,58	0,66	0,40
10	Мати прошивні теплоізоляційні	50	0,84	0,038	2	5	0,045	0,048	0,39	0,43	0,59
11	Плити зі скляного штапельного волокна одержуваного вертикальним роздувом	30	0,84	0,047	2	5	0,061	0,065	0,35	0,39	0,61
		75	0,84	0,047	2	5	0,062	0,067	0,56	0,62	0,58
		160	0,84	0,052	2	5	0,064	0,070	0,83	0,93	0,53
		190	0,84	0,057	2	5	0,070	0,073	0,95	1,03	0,50
12	Плити зі скляного штапельного волокна одержуваного центрифугально-фільтрово-дутьовим способом (ЦФДС) (вміст зв'язуючого за масою від 3,5% до 4,0 %)	15	0,84	0,040	1	4	0,050	0,051	0,21	0,23	0,61
		55	0,84	0,038	1	4	0,045	0,048	0,38	0,42	0,49
		140	0,84	0,040	1	4	0,049	0,051	0,66	0,73	0,41
13	Плити зі скляного штапельного волокна одержуваного ЦФДС (вміст зв'язуючого за масою від 4,0% до 4,5 %)	20	0,84	0,039	1	3	0,043	0,047	0,25	0,27	0,55
		80	0,84	0,037	1	4	0,042	0,049	0,48	0,52	0,47

14	Мати зі скляного штапельного волокна одержуваного ЦФДС (вміст зв'язуючого за масою від 3,5% до 4,0 %)	10	0,84	0,043	1	4	0,050	0,053	0,18	0,19	0,55
15	Мати зі скляного штапельного волокна одержуваного ЦФДС (вміст зв'язуючого за масою від 4,0% до 4,5 %)	10	0,84	0,046	1	3	0,051	0,054	0,19	0,20	0,69
		15	0,84	0,043	1	3	0,047	0,052	0,23	0,24	0,60
16	Мати зі скляного штапельного волокна одержуваного вертикальним роздувом	25	0,84	0,047	2	5	0,061	0,065	0,32	0,35	0,62
		35	0,84	0,047	2	5	0,060	0,064	0,38	0,41	0,60
		40	0,84	0,047	2	5	0,061	0,065	0,45	0,49	0,60
17	Вироби теплоізоляційні скловолокнисті	45	0,84	0,037	2	5	0,044	0,046	0,36	0,40	0,60
18	Вата мінеральна	80	0,84	0,045	2	5	0,060	0,064	0,55	0,61	0,40
		100	0,84	0,050	2	5	0,064	0,070	0,71	0,80	0,30
1.2 Полімерні матеріали											
19	Плити піно- полістирольні	15	1,34	0,040	2	10	0,045	0,055	0,28	0,33	0,05
		25	1,34	0,038	2	10	0,043	0,053	0,34	0,40	0,05
		35	1,34	0,037	2	10	0,041	0,050	0,40	0,46	0,05
		50	1,34	0,034	2	10	0,040	0,045	0,46	0,53	0,05
20	Плити піно- полістирольні екструзійні	50	1,34	0,033	2	10	0,038	0,043	0,47	0,54	0,02
		80	1,34	0,035	2	10	0,041	0,049	0,59	0,73	0,02
21	Плити пінополістирол ьні екструзійні	20	1,34	0,037	2	10	0,039	0,041	0,29	0,32	0,02
		25	1,34	0,036	2	10	0,038	0,040	0,32	0,36	0,02
		30	1,34	0,035	2	10	0,037	0,039	0,34	0,39	0,02

22	Плити піно-полістирольні екструзійні	39	1,45	0,034	1	2	0,037	0,037	0,40	0,40	0,025
23	Блоки пінополістирольні	20	1,45	0,038	2	10	0,044	0,045	0,24	0,35	0,04
		30	1,45	0,035	2	10	0,041	0,043	0,29	0,42	0,04
24	Вироби з жорсткого піно-поліуретану	40	1,47	0,029	2	5	0,040	0,040	0,40	0,42	0,05
		60	1,47	0,035	2	5	0,041	0,041	0,53	0,55	0,05
		80	1,47	0,041	2	5	0,050	0,050	0,67	0,70	0,05
25	Плити з резольно-формальдегідного пінопласта	40	1,68	0,038	5	20	0,041	0,060	0,48	0,66	0,23
		50	1,68	0,041	5	20	0,050	0,064	0,59	0,77	0,23
		100	1,68	0,047	5	20	0,052	0,076	0,85	1,18	0,15
26	Вироби зі спіненої карбомідно-формальдегідної смоли	15	1,68	0,047	7	30	0,058	0,064	0,27	0,34	0,51
		25	1,68	0,043	7	30	0,063	0,074	0,36	0,47	0,42
		30	1,68	0,041	7	30	0,070	0,085	0,42	0,56	0,40
27	Вироби зі спіненого пінополіетілену	30	1,34	0,043	2	5	0,044	0,047	0,30	0,33	0,02
		50	1,34	0,039	2	5	0,042	0,045	0,38	0,41	0,02
28	Вироби зі спіненого хімічно сшитого пінополіетілену	30	1,34	0,038	2	5	0,042	0,043	0,38	0,40	0,02
1.3. Вироби з природної органічної та неорганічної сировини											
29	Вироби перлітофосфогельові	200	1,05	0,064	3	12	0,070	0,090	1,10	1,43	0,23
		300	1,05	0,076	3	12	0,080	0,120	1,43	2,02	0,20
30	Блоки полістирол-бетонні стінові	200	1,06	0,065	4	8	0,070	0,080	1,12	1,28	0,12
		300	1,06	0,085	4	8	0,090	0,110	1,55	1,83	0,10
		600	1,06	0,145	4	8	0,175	0,200	3,07	3,49	0,068
31	Вироби теплоізоляційні перліто-цементні та перлітогіпсові	300	0,84	0,075	10	15	0,098	0,108	0,92	1,26	0,198
		450	0,84	0,086	10	15	0,118	0,202	1,89	2,63	0,18
32	Вироби перліто-бентонітові теплоізоляційні	250	0,84	0,072	10	15	0,083	0,091	1,38	1,55	0,20
		300	0,84	0,082	10	15	0,098	0,110	1,64	1,85	0,15
		400	0,84	0,110	10	15	0,140	0,160	2,26	2,59	0,10

33	Блоки перлітобетонні стінові	500	0,84	0,084	10	15	0,110	0,130	2,24	2,63	0,33
		600	0,84	0,090	10	15	0,120	0,140	2,57	3,01	0,30
		650	0,84	0,093	10	15	0,130	0,150	2,78	3,22	0,29
34	Вироби цементополісти рольні	250	0,84	0,066	4	8	0,09	0,1	1,29	1,45	0,1
		300	0,84	0,076	4	8	0,10	0,11	1,53	1,74	0,095
		400	0,84	0,096	4	8	0,12	0,15	2,02	2,33	0,08
		500	0,84	0,116	4	8	0,14	0,19	2,53	2,95	0,070
		550	0,84	0,126	4	8	0,15	0,21	2,78	3,28	0,068
35	Піноскло	160	0,84	0,059	0,5	1	0,060	0,061	0,80	0,81	0
36	Блоки кремнезито- цементні	300	0,84	0,073	3	6	0,08	0,086	1,30	1,43	0,29
		400	0,84	0,083	3	6	0,09	0,096	1,59	1,75	0,23
		500	0,84	0,093	3	6	0,10	0,11	1,87	2,1	0,17
37	Вироби з арболіту на портланд- цементі	300	2,30	0,07	10	15	0,11	0,14	2,56	2,99	0,30
		400	2,30	0,08	10	15	0,13	0,16	3,21	3,70	0,26
		600	2,30	0,12	10	15	0,18	0,23	4,63	5,43	0,11
		800	2,30	0,16	10	15	0,24	0,3	6,17	7,16	0,11
38	Плити теплоізоляційні очеретяні	200	2,30	0,06	10	15	0,07	0,09	1,67	1,96	0,49
		300	2,30	0,07	10	15	0,09	0,14	2,31	2,99	0,45
39	Вироби перлітобітумні теплоізоляційні	300	1,68	0,087	1	2	0,09	0,099	1,84	1,95	0,04
		400	1,68	0,111	1	2	0,12	0,13	2,45	2,59	0,04
40	Плити деревноволокн исті та деревно- стружечні	200	2,30	0,06	10	12	0,07	0,08	1,67	1,81	0,24
		400	2,30	0,08	10	12	0,11	0,13	2,95	3,26	0,19
		600	2,30	0,11	10	12	0,13	0,16	3,93	4,43	0,13
		800	2,30	0,13	10	12	0,19	0,23	5,49	6,13	0,12
		1000	2,30	0,15	10	12	0,23	0,29	6,75	7,7	0,12
1.4. Бетони теплоізоляційні											
41	Бетони ніздрюваті	200	0,84	0,065	4	6	0,069	0,074	1,01	1,08	0,28
		300	0,84	0,08	4	6	0,09	0,10	1,41	1,48	0,26
		400	0,84	0,10	4	6	0,11	0,13	1,84	2,1	0,23
		500	0,84	0,12	4	6	0,15	0,16	2,38	2,48	0,20
42	Вермікуліто- бетон	400	0,84	0,09	8	13	0,11	0,13	1,94	2,29	0,19
		600	0,84	0,14	8	13	0,16	0,17	2,87	3,21	0,15
		800	0,84	0,21	8	13	0,23	0,26	3,97	4,58	0,12
1.5. Матеріали теплоізоляційні засипні											
43	Щебінь перлітовий	300	0,84	0,112	1	2	0,115	0,12	1,42	1,51	0,26
44	Гравій шлаковий	300	0,84	0,112	1	3	0,12	0,13	1,56	1,65	0,22
45	Щебінь шлаковий	350	0,84	0,162	1	3	0,17	0,19	2,00	2,16	0,21

46	Щебінь вермікулітовий	250	0,84	0,112	2	3	0,13	0,15	1,48	1,62	0,26
47	Гравій керамзитовий	200	0,84	0,099	2	3	0,11	0,12	1,22	1,3	0,26
		300	0,84	0,14	2	3	0,12	0,13	1,56	1,66	0,25
		400	0,84	0,12	2	3	0,13	0,14	1,87	1,99	0,24
		600	0,84	0,14	2	3	0,17	0,2	2,62	2,91	0,23
		800	0,84	0,18	2	3	0,21	0,23	3,36	3,6	0,21
48	Щебінь шлакопемзовий	400	0,84	0,17	2	3	0,21	0,23	2,35	2,52	0,24
49	Пісок вермікулітовий	100	0,84	0,064	1	3	0,076	0,08	0,7	0,75	0,3
		200	0,84	0,076	1	3	0,09	0,11	1,08	1,24	0,23
50	Пісок для будівельних робіт	1600	0,84	0,35	1	2	0,47	0,58	6,95	7,91	0,17
1.6. Розчини теплоізоляційні											
51	Розчини цементно- перлітові	600	0,84	0,14	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84	0,17
		800	0,84	0,16	7	12	0,21	0,26	3,73	4,51	0,16
		1000	0,84	0,21	7	12	0,26	0,30	4,64	5,42	0,15
52	Розчини гіпсоперлітові	400	0,84	0,09	6	10	0,13	0,15	2,03	2,35	0,53
		500	0,84	0,12	6	10	0,15	0,19	2,44	2,95	0,43
53	Розчини цементно- кремнезитові	200	0,84	0,063	4	8	0,072	0,08	1,03	1,17	0,35
		300	0,84	0,073	4	8	0,082	0,09	1,34	1,52	0,29
54	Розчини цементно- шлакові	1200	0,84	0,35	2	4	0,47	0,58	6,16	7,15	0,14
		1400	0,84	0,41	2	4	0,52	0,64	7,0	8,11	0,11
55	Розчини цементнопіно- полістирольні	600	0,84	0,10	4	10	0,12	0,17	2,33	3,06	0,07
2. КОНСТРУКЦІЙНО - ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ											
2.1. Бетони ніздрюваті											
56	Бетони ніздрюваті	500	0,84	0,12	4	6	0,15	0,16	2,38	2,48	0,20
		600	0,84	0,13	4	6	0,16	0,18	2,65	2,9	0,17
		700	0,84	0,18	6	8	0,24	0,27	3,66	3,98	0,16
		800	0,84	0,21	6	8	0,27	0,30	4,16	4,51	0,14
		900	0,84	0,24	6	8	0,33	0,36	4,82	5,23	0,12
		1000	0,84	0,29	8	12	0,38	0,44	5,72	6,59	0,11
		1100	0,84	0,34	10	15	0,45	0,51	6,74	7,74	0,1
		1200	0,84	0,38	10	15	0,49	0,55	7,37	8,48	0,09
57	Газо- та пінозобетон	1000	0,84	0,23	15	22	0,44	0,5	6,86	8,01	0,098
		1200	0,84	0,29	15	22	0,52	0,58	8,17	9,46	0,075

2.2. Бетони легкі											
58	Керамзито-бетон на керамзитовому піску	500	0,84	0,14	5	10	0,17	0,23	2,55	3,25	0,3
		600	0,84	0,16	5	10	0,20	0,26	3,03	3,78	0,26
		800	0,84	0,21	5	10	0,24	0,31	3,83	4,77	0,19
		1000	0,84	0,27	5	10	0,33	0,41	5,03	6,13	0,14
		1200	0,84	0,36	5	10	0,44	0,52	6,36	7,57	0,11
		1400	0,84	0,47	5	10	0,56	0,65	7,75	9,14	0,098
		1600	0,84	0,58	5	10	0,67	0,79	9,06	10,77	0,09
		1800	0,84	0,66	5	10	0,80	0,92	10,53	12,33	0,09
59	Керамзито-бетон на кварцовому піску з поризацією	800	0,84	0,23	4	8	0,29	0,35	4,13	4,9	0,075
		1000	0,84	0,33	4	8	0,41	0,47	5,49	6,35	0,075
		1200	0,84	0,41	4	8	0,52	0,58	6,77	7,72	0,075
60	Керамзито-бетон на перлітовому піску	800	0,84	0,22	9	13	0,29	0,35	4,54	5,32	0,17
		1000	0,84	0,28	9	13	0,35	0,41	5,57	6,43	0,15
61	Керамзито-шлакобетон	1000	0,84	0,25	4	8	0,33	0,41	5,06	5,91	0,15
62	Перлітобетон	600	0,84	0,12	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84	0,3
		800	0,84	0,16	10	15	0,27	0,33	4,45	5,32	0,26
		1000	0,84	0,22	10	15	0,33	0,38	5,5	6,38	0,19
		1200	0,84	0,29	10	15	0,44	0,5	6,96	8,01	0,15
63	Шлакопемзобетон	1000	0,84	0,23	5	8	0,31	0,37	4,87	5,63	0,11
		1200	0,84	0,29	5	8	0,37	0,44	5,83	6,73	0,11
		1400	0,84	0,35	5	8	0,44	0,52	6,87	7,9	0,098
		1600	0,84	0,41	5	8	0,52	0,63	7,98	9,29	0,09
64	Бетон на доменних гранульованих шлаках	1200	0,84	0,35	5	8	0,47	0,52	6,57	7,31	0,11
		1400	0,84	0,41	5	8	0,52	0,58	7,46	8,34	0,098
		1600	0,84	0,47	5	8	0,58	0,64	8,43	9,37	0,09
65	Бетон на зольному гравії	1000	0,84	0,24	5	8	0,30	0,35	4,79	5,48	0,12
		1200	0,84	0,35	5	8	0,41	0,47	6,14	6,95	0,11
		1400	0,84	0,47	5	8	0,52	0,58	7,46	8,34	0,09
2.3. Вироби гіпсові											
66	Плити з гіпсу	1000	0,84	0,23	4	6	0,29	0,35	4,62	5,28	0,11
		1200	0,84	0,35	4	6	0,41	0,47	6,01	6,7	0,1
67	Листи гіпсокартонні	800	0,84	0,15	4	6	0,19	0,21	3,34	3,66	0,075

2.4. Вироби бетонні											
68	Блоки кремнезито- цементні	700	0,84	0,2	4	8	0,21	0,23	3,28	3,63	0,19
		800	0,84	0,21	4	8	0,22	0,24	3,59	4,05	0,17
		1000	0,84	0,23	4	8	0,23	0,27	4,28	4,81	0,13
		1200	0,84	0,25	4	8	0,27	0,29	4,87	5,45	0,11
2.5. Деревина та вироби з неї											
69	Сосна та ялина поперек волокон	500	2,3	0,09	15	20	0,14	0,18	3,87	4,54	0,06
70	Сосна та ялина уздовж волокон	500	2,3	0,18	15	20	0,29	0,35	5,56	6,33	0,32
71	Дуб поперек волокон	700	2,3	0,10	10	15	0,18	0,23	5,0	5,86	0,05
72	Дуб уздовж волокон	700	2,3	0,23	10	15	0,35	0,41	6,9	7,83	0,3
73	Фанера клеєна	600	2,3	0,12	10	13	0,15	0,18	4,22	4,73	0,02
74	Картон облицювальний	1000	2,3	0,18	5	10	0,21	0,23	6,2	6,75	0,06
75	Картон будівельний багатошаровий	650	2,3	0,13	6	12	0,15	0,18	4,26	4,89	0,083
2.6. Цегляна кладка з порожнистої цегли											
76	Керамічної порожнистої густиною 1400 кг/м³ (брутто) на цементно- піщаному розчині	1600	0,88	0,47	1	2	0,58	0,64	7,91	8,48	0,14
77	Керамічної порожнистої густиною 1300 кг/м³ (брутто) на цементно- піщаному розчині	1400	0,88	0,41	1	2	0,52	0,58	7,01	7,56	0,16
78	Керамічної порожнистої густиною 1000 кг/м³ (брутто) на цементно- піщаному розчині	1200	0,88	0,35	1	2	0,47	0,52	6,16	6,62	0,17

2.7. Кладка з виробів бетонних											
79	З блоків керамзитшлакобетонних на цементно-піщаному розчині густиною 800 кг/м ³ (брутто) густиною 850 кг/м ³ (брутто)	1400	0,88	0,34	1	2	0,46	0,51	5,95	6,41	0,15
		1350	0,88	0,31	1	2	0,37	0,43	5,06	5,91	0,15
80	З блоків кремнезитоцементних на вапняному розчині із сіопорового та кварцового піску	400	0,88	0,085	3	6	0,09	0,092	1,62	1,74	0,22
3. Матеріали конструкційні											
3.1. Бетони конструкційні											
81	Залізобетон	2500	0,84	1,69	2	3	1,92	2,04	17,98	18,95	0,03
82	Бетон на гравію або щебені з природного каменю	2400	0,84	1,51	2	3	1,74	1,86	16,77	17,88	0,03
3.2. Розчини будівельні											
83	Розчин цементно-піщаний	1600	0,84	0,47	2	4	0,70	0,81	8,69	9,76	0,12
84	Розчин складний (пісок, вапно, цемент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,70	0,87	8,95	10,42	0,098
85	Розчин вапняно-піщаний	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,6	11,09	0,09
3.3. Облицювання природним каменем та керамічною плиткою											
86	Плити та вироби з природного каменю: - граніт, гнейс та базальт	2800	0,88	3,49	0	0	3,49	3,49	25,04	25,04	0,008

87	- мармур	2800	0,88	2,91	0	0	2,91	2,91	22,86	22,86	0,008
88	-вапняк	1600	0,88	0,58	2	3	0,73	0,81	9,06	9,75	0,09
		1800	0,88	0,70	2	3	0,93	1,05	10,85	11,77	0,075
		2000	0,88	0,93	2	3	1,16	1,28	12,77	13,7	0,06
89	-туф	1000	0,88	0,21	3	5	0,24	0,29	4,2	4,8	0,11
		1200	0,88	0,27	3	5	0,35	0,41	5,55	6,25	0,11
		1400	0,88	0,33	3	5	0,43	0,52	6,64	7,6	0,098
		1600	0,88	0,41	3	5	0,52	0,64	7,81	9,02	0,09
		1800	0,88	0,56	3	5	0,7	0,81	9,61	10,76	0,083
		2000	0,88	0,76	3	5	0,93	1,05	11,68	12,92	0,075
90	Плити керамічні для підлоги	2000	0,88	0,89	3	5	0,96	1,1	11,63	12,55	0,06
3.4. Кладка цегляна з повнотілої цегли											
91	Глиняної звичайної на цементно-піщаному розчині	1800	0,88	0,56	1	2	0,70	0,81	9,2	10,12	0,11
92	Глиняної звичайної на цементно-шлаковому розчині	1700	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,76	8,64	9,7	0,12
93	Глиняної звичайної на цементно-перлітовому розчині	1600	0,88	0,47	2	4	0,58	0,70	8,08	9,23	0,15
94	Силікатної на цементно-піщаному розчині	1800	0,88	0,70	2	4	0,76	0,87	9,77	10,9	0,11
95	Трепельної на цементно-піщаному розчині	1000	0,88	0,29	2	4	0,41	0,47	5,35	5,96	0,23
		1200	0,88	0,35	2	4	0,47	0,52	6,26	6,49	0,19
96	Шлакової на цементно-піщаному розчині	1500	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,70	8,12	8,76	0,11

3.5 Матеріали покрівельні, гідроізоляційні та покриття полімерні для підлог											
97	Листи азбесто-цементні	1600	0,84	0,23	2	3	0,35	0,41	6,14	6,8	0,03
		1800	0,84	0,35	2	3	0,47	0,52	7,55	8,12	0,03
98	Матеріали бітумні, бітумно-полімерні покрівельні та гідроізоляційні	1000	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	4,56	4,56	0,008
		1200	1,68	0,22	0	0	0,22	0,22	5,69	5,69	0,008
		1400	1,68	0,27	0	0	0,27	0,27	6,8	6,8	0,008
99	Асфальтобетон	2100	1,68	1,05	0	0	1,05	1,05	16,43	16,43	0,008
100	Руберойд, пергамін	600	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	3,53	3,53	-
101	Лінолеум полівінілхлоридний на теплоізоляційній підоснові	1600	1,47	0,33	0	0	0,33	0,33	7,52	7,52	0,002
		1800	1,47	0,38	0	0	0,38	0,38	8,56	8,56	0,002
102	Лінолеум полівінілхлоридний на тканинній основі	1400	1,47	0,23	0	0	0,23	0,23	5,87	5,87	0,002
		1600	1,47	0,29	0	0	0,29	0,29	7,05	7,05	0,002
103	Лінолеум полівінілхлоридний багатошаровий та одношаровий без підоснови	800	1,47	0,17	0	0	0,17	0,17	3,32	3,32	0,002
		1200	1,47	0,21	0	0	0,21	0,21	4,51	4,51	0,02
3.6. Метали											
104	Сталь арматурна	7850	0,482	58	0	0	58	58	126,5	126,5	0
105	Чавун	7200	0,482	50	0	0	50	50	112,5	112,5	0
106	Алюміній	2600	0,84	221	0	0	221	221	187,6	187,6	0
107	Латунь, мідь	8500	0,42	407	0	0	407	407	326	326	0
108	Скло віконне	2500	0,84	0,76	0	0	0,76	0,76	10,79	10,79	0

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6–31:2006. Зміна №1. Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінбуд України, 2013. – 70 с.
2. ДБН В.2.6–31:2006. Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінбуд України, 2006. – 64 с.
3. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. – К.: Мінбуд України, 2010. – 128 с.
4. Галушак М.О., Рувінський Б.М. Будівельна фізика. Частина 2. Навч. пос. з грифом МОНУ.- Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012.- 269 с.
5. Рувінський Б.М., Галушак М.О. Будівельна фізика. Частина 1. Навч. пос.- Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011.- 239 с.
6. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий / Госстрой России. – М. : ФГУП ЦПП, 2004. – 36 с.
7. Строительные нормы и правила, СНиП 23-02-03 “Тепловая защита зданий”.М.: Госстрой России, 2004.
8. Гусев Н.М. Основы строительной физики. – М.: Стройиздат, 1975. – 440 с.
9. Ильинский В.М. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат зданий). – М.: Высшая школа, 1974. – 320 с.
10. Сергейчук О.В. Архітектурно-будівельна фізика. Теплотехніка огорожуючих конструкцій будинків. – К.: „Такісправи”, 1992. – 156 с.
11. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. – 256 с.
12. Малявина Е.Г. Теплотери здания. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. – 144 с.