

Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна

БУДІВЕЛЬНА ТЕПЛОФІЗИКА

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна

БУДІВЕЛЬНА ТЕПЛОФІЗИКА

Практикум

Вінниця
ВНТУ
2021

УДК 697
Р25

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 7 від 24.12.2020 р.)

Рецензенти:

В. М. Желих, доктор технічних наук, професор

А. С. Моргун, доктор технічних наук, професор

В. В. Швець, кандидат технічних наук, доцент

Ратушняк, Г. С.

Р25 Будівельна теплофізика : практикум / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 51 с.

ISBN 978-966-641-835-0

«Будівельна теплофізика» призначено для студентів бакалаврського напрямку 192 – Будівництво та цивільна інженерія. Посібник містить дев'ять розділів із описанням специфіки розрахунку огорожувальних конструкцій будівлі.

В практикумі наведено основи теплотехнічного розрахунку будівель із застосуванням сучасних нормативних документів. При підготовці навчального посібника використано терміни, позначення та положення із нормативних баз України, наведених в державних стандартах.

УДК 697

ISBN 978-966-641-835-0

© ВНТУ, 2021

ЗМІСТ

1 ОБҐРУНТУВАННЯ МІКРОКЛІМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОКРЕМИХ ПРИМІЩЕНЬ БУДІВЛІ	4
2 ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОГороДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ	7
2.1 Теплотехнічний розрахунок зовнішніх стін	7
2.2 Теплотехнічний розрахунок перекриття над підвалом.....	15
2.3 Теплотехнічний розрахунок покрівлі	16
3 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНОГО РЕЖИМУ ЗОВНІШНЬОЇ ЗАХИСНОЇ КОНСТРУКЦІЇ.....	17
4 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОСТІЙКОСТІ ОГороДЖЕНЬ ДЛЯ ЛІТНЬОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ	21
5 РОЗРАХУНОК ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ ОГороДЖЕНЬ	24
6 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОЗАСВОЄННЯ ПОВЕРХНІ ПІДЛОГИ.....	28
7 ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН НАДХОДЖЕНЬ ТЕПЛА В БУДІВЛЮ ВІД ІНСОЛЯЦІЇ.....	29
8 ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН ТЕПЛОВИХ ВТРАТ БУДІВЛІ	31
9 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПАСПОРТ БУДІВЛІ.....	36
Література	40
Додаток А.....	41

1 ОБҐРУНТУВАННЯ МІКРОКЛІМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОКРЕМИХ ПРИМІЩЕНЬ БУДІВЛІ

Для теплофізичного розрахунку будівлі вказують його основні конструктивні особливості:

- тип будівлі (житлова, адміністративна, громадська, промислова тощо);
- кількість поверхів будівлі;
- конструкція зовнішніх стін;
- конструкція горищного перекриття;
- конструкція перекриття над підвалом;
- конструкція вікон.

Умови мікроклімату приміщень будівлі обираються відповідно до табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Умови мікроклімату приміщень [1, 2]

Умови мікроклімату			Сфера застосування
Згідно з нормами ДБН В.2.5-67:2013	згідно з ДСТУ Б EN ISO 7730	згідно з ДСТУ Б EN 15251	
Підвищені оптимальні	А	І	Приміщення з дуже чутливими людьми з особливими потребами, такими як: інваліди, хворі, маленькі діти та люди похилого віку
Оптимальні	В	ІІ	Приміщення з постійним перебуванням людей у нових будівлях і в існуючих будівлях при реконструкції та капітальному ремонті, зокрема, термомодернізації
Допустимі	С	ІІІ	Приміщення з тимчасовим перебуванням людей у нових будівлях і в існуючих будівлях при реконструкції та капітальному ремонті, у тому числі термомодернізації; існуючі будівлі
Обмежено допустимі	-	ІV	Будівлі з обмеженим використанням упродовж року

Мікрокліматичні характеристики окремих приміщень будівлі наводяться у вигляді табл. 1.2 та вибираються за табл. 1.3.

Таблиця 1.2 – Параметри внутрішнього повітря будівлі [2]

Ч.ч.	Назва приміщень	Вологість, %	Температура, °С
1-й поверх		30-60	
101	Спальня		22±2
102	Дитяча		22±2
103	Вітальня		22±2
104	Кухня		19,5±3
105	Санвузол		25±1,5

Таблиця 1.3 – Діапазони результуючої температури приміщення для опалення та охолодження в опалювальний період (у холодний період) [2]

Тип будівлі/приміщення	Умови мікроклімату	Результуюча температура
Житлові будівлі: житлові об'єми (спальня кімната, вітальня, кабінет, кухня/їдальня тощо)	Підвищені оптимальні	22,0±1,0
	Оптимальні	22,0±2,0
	Допустимі	22,0±3,0
Житлові будівлі: інші об'єми (кухня, гардеробна, комора тощо)	Підвищені оптимальні	19,5±1,5
	Оптимальні	19,5±3,0
	Допустимі	19,5±4,0
Житлові будівлі: ванна кімната	Підвищені оптимальні	25,0±0,5
	Оптимальні	25,0±1,5
	Допустимі	25,0±2,0
Окремий звичайний офіс (комірковий офіс)	Підвищені оптимальні	22,0±1,0
	Оптимальні	22,0±2,0
	Допустимі	22,0±3,0
Просторий ландшафтний офіс (офіс з відкритим плануванням)	Підвищені оптимальні	22,0±1,0
	Оптимальні	22,0±2,0
	Допустимі	22,0±3,0
Універмаг / музей / галерея	Підвищені оптимальні	19,0±1,5
	Оптимальні	19,0±3,0
	Допустимі	19,0±4,0
Аудиторія, клас	Підвищені оптимальні	22,0±1,0
	Оптимальні	22,0±2,0
	Допустимі	22,0±3,0
Конференц-зала	Підвищені оптимальні	22,0±1,0
	Оптимальні	22,0±2,0
	Допустимі	22,0±3,0
Кафетерій / ресторан	Підвищені оптимальні	22,0±1,0
	Оптимальні	22,0±2,0
	Допустимі	22,0±3,0

Орієнтуючись за узагальненими значеннями, вибираються розрахункові значення температури й вологості повітря приміщень відповідно до табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Розрахункові значення температури й вологості повітря приміщень [2]

Призначення будівель	Розрахункова температура внутрішнього повітря $t_{в}$, °С	Розрахункове значення відносної вологості $\varphi_{в}$, %	Вологісні умови експлуатації
Житлові	20	55	Б
Громадські та адміністративні	20	50-60	Б
Лікувальні й дитячі навчальні заклади	21	50	Б
Дошкільні заклади	22	50	Б

2 ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ

Перед початком розрахунку огороджувальних конструкцій будівлі встановлюється географічне розташування та визначається температурна зона території розміщення будівлі за рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Карта-схема температурних зон України [1]

Відповідно до географічного розташування міста будівництва визначаються такі показники зовнішнього повітря:

- найбільш холодної п'ятиденки із забезпеченістю $k = 0,92$;
- найбільш холодної п'ятиденки із забезпеченістю $k = 0,98$;
- найбільш холодної доби із забезпеченістю $k = 0,92$;
- найбільш холодної доби із забезпеченістю $k = 0,98$.

2.1 Теплотехнічний розрахунок зовнішніх стін

Для зовнішніх огороджувальних конструкцій опалюваних будівель та споруд (додаток А) і внутрішніх конструкцій, що розділяють приміщення, температура повітря в яких відрізняється на $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ та більше, обов'язкове виконання умов:

$$R_{\Sigma\text{пр}} \geq R_{q\text{min}}, \quad (2.1)$$

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

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

Мінімально допустиме значення $R_{q \min}$ опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій і дверей житлових та громадських будівель залежить від температурної зони та визначається відповідно до табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будівель ($R_{q \min}$) [1]

Ч.ч.	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{q \min}$, $\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стіни	3,3	2,8
2	Суміщені покриття	5,35	4,9
3	Горищні покриття та перекриття неопалюваних горищ	4,95	4,5
4	Перекриття над проїздами та неопалюваними підвалами	3,75	3,3
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,75	0,6
6	Вхідні двері в багатоквартирні житлові будівлі та в громадські будівлі	0,44	0,39
7	Вхідні двері в малоповерхові будівлі та в квартири, що розташовані на перших поверхах багатопверхових будівель	0,6	0,54

Різницю між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції t_{cz} , °C [1]

Призначення будівлі	Вид огорожувальної конструкції		
	Стіни (зовнішні, внутрішні)	Покриття та перекриття горещ	Перекрыття над проїз- дами та підвалами
Житлові будівлі, дитячі установи, школи, інтернати	4,0	3,0	2,0
Громадські будівлі, крім зазна- чених вище, адміністративні та побутові будівлі	5,0	4,0	2,5
Виробничі будівлі з сухим та нормальним режимом експлуатації	7,0	5,0	
Виробничі будівлі з вологим та мокрим режимом експлуатації	$t_v - t_p$	$0,8 (t_v - t_p)$	
Виробничі будівлі з надлишка- ми тепла (більше 23 Вт/м ³)	12	12	

Мінімально допустиме значення $R_{q \min}$ опору теплопередачі непрозо-
рих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних
конструкцій, дверей та воріт промислових (сільськогосподарських) буді-
вель встановлюється залежно від температурної зони експлуатації будів-
лі, тепловологісного режиму внутрішнього середовища і теплової інерції
огорожувальних конструкцій D , що розраховується за формулою

$$D = \sum_{i=1}^n R_i S_{ip} . \quad (2.2)$$

Залежно від температурної зони, в якій розташований населений пункт
України, в таблиці 2.3 наведено нормативні мінімально допустимі значен-
ня опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій промис-
лових будівель.

Таблиця 2.3 – Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції промислових будівель [1]

Вид огорожувальної конструкції та тепловологісний режим експлуатації будівель	Значення $R_{q \min}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, для температурної зони	
	I	II
Зовнішні непрозорі стіни будівель: – з сухим і нормальним режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$ – з вологим і мокрим режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$ – з надлишками тепла (більше ніж $23 \text{ Вт}/\text{м}^3$)	1,7 2,2 1,8 2,4 0,55	1,5 2,0 1,6 2,2 0,45
Покриття та перекриття неопалюваних горищ будівель: – з сухим і нормальним режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$ – з вологим і мокрим режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$ – з надлишками тепла (більше ніж $23 \text{ Вт}/\text{м}^3$)	1,7 2,2 1,7 1,9 0,55	1,6 2,1 1,6 1,8 0,45
Перекриття над проїздами й неопалюваними підвалами з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$	1,9 2,4	1,8 2,2
Двері й ворота будівель: – з сухим і нормальним режимом – з вологим і мокрим режимом – з надлишками тепла (більше ніж $23 \text{ Вт}/\text{м}^3$)	0,6 0,75 0,2	0,55 0,70 0,2
Вікна й zenітні ліхтарі будівель: – із сухим і нормальним режимом – з вологим і мокрим режимом – з надлишками тепла (більше за $23 \text{ Вт}/\text{м}^3$)	0,45 0,5 0,18	0,42 0,45 0,18

Опір теплопередачі багатошарової конструкції визначається за формулою:

$$R_i = \delta_i / \lambda_{ip}, \quad (2.3)$$

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

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$.

Повний фактичний термічний опір огороження, що складається із цегли, утеплювача та штукатурки, підраховується за виразом:

$$R_0^{\phi} = \frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_{ц}}{\lambda_{ц}} + \frac{\delta_{у}}{\lambda_{у}} + \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}} + \frac{1}{\alpha_з}, \quad (2.4)$$

де $1/\alpha_в$ – термічний опір теплосприйняття внутрішньої поверхні стіни;

$\alpha_в$ – коефіцієнт теплосприйняття внутрішньої поверхні стіни;

$\delta_{ц}/\lambda_{ц}$ – термічний опір шару цегли, $R_{ц}$;

$\delta_{у}/\lambda_{у}$ – термічний опір шару утеплювача, $R_{у}$;

$\delta_{шт}/\lambda_{шт}$ – термічний опір шару штукатурки, $R_{шт}$;

$1/\alpha_з$ – термічний опір тепловіддачі зовнішньої поверхні стіни, $R_з$;

В таблиці 2.4 [1] наведено розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальних конструкцій.

Таблиця 2.4 – Розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої $\alpha_в$ та зовнішньої $\alpha_з$ поверхонь огорожувальних конструкцій

Тип конструкції	Коефіцієнти тепловіддачі, $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$	
	$\alpha_в$	$\alpha_з$
Зовнішні стіни, дахи, покриття, перекриття над проїздами плоскі та з ребрами при відношенні висоти ребра h до відстані між гранями b сусідніх ребер $h/b \leq 0,3$ $h/b > 0,3$	8,7 7,6	23 23
Перекриття горищ та холодних підвалів	8,7	12
Перекриття над холодними підвалами та технічними поверхами, що розташовані нижче рівня землі	8,7	6
Вікна, балконні двері, вітражі та світлопрозорі фасадні	8,0	23
Зенітні ліхтарі	9,9	23

В таблиці 2.5 наведено розрахункові значення термічного опору замкнутого повітряного прошарку, залежно від розміщення в конструкції.

Таблиця 2.5 – Термічний опір замкнутого повітряного прошарку [4, 5]

Товщина повітряного прошарку, м	Розміщення прошарку			
	горизонтальне при потоці тепла знизу вгору та вертикальне		горизонтальне при потоці тепла згори донизу	
	середня температура повітря у прошарку			
	≥ 0 °C	< 0 °C	≥ 0 °C	< 0 °C
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,1	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,2–0,3	0,15	0,19	0,19	0,24

Повітряний прошарок вважається замкнутим тільки лише в тому випадку, коли товщина зовнішнього шару кладки перевищує 250 мм. При цьому висота замкнутого повітряного прошарку не може перевищувати висоти поверху, але не більше 6 м, а товщина в межах 20–100 мм. В інших випадках повітряний прошарок вважається вентиляваним, при визначенні опору теплопередачі не враховується, як і зовнішній облицювальний шар.

Для теплотехнічного розрахунку зовнішньої стіни вказуються шари матеріалу (рис. 2.2)

Для прикладу наведено розрахунок зовнішньої стіни, виконаної з цегляної кладки, утепленої мінераловатними плитами та оздобленої штукатуркою для зовнішніх робіт. Будівля розташована в I температурній зоні України.

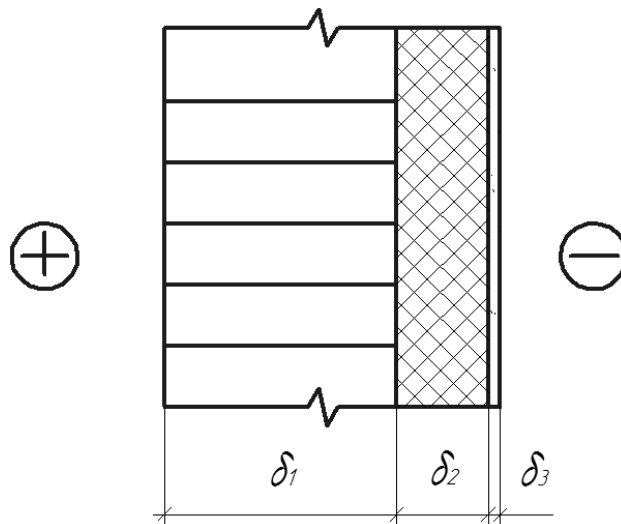


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема конструкції зовнішньої стіни

Для розрахунку наведено розрахункові теплотехнічні характеристики будівельних матеріалів:

1-й шар – цегла звичайна на цементно-піщаному розчині:

$$\begin{aligned} \rho_1 &= 1800 \text{ кг/ м}^3; \\ \lambda_1 &= 0,75 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}; \\ S_1 &= 10,12 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}; \\ \mu_1 &= 0,11 \text{ кг/(м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па)}; \\ \delta_1 &= 0,38 \text{ м.} \end{aligned}$$

2-й шар – плити мінераловатні:

$$\begin{aligned} \rho_2 &= 75 \text{ кг/ м}^3; \\ \lambda_2 &= 0,044 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}; \\ S_2 &= 0,46 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}; \\ \mu_2 &= 0,05 \text{ кг/(м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па)}; \\ \delta_2 &= x \text{ м.} \end{aligned}$$

3-й шар – штукатурка – вапняно-піщаний розчин:

$$\begin{aligned} \rho_3 &= 1800 \text{ кг/ м}^3; \\ \lambda_3 &= 0,75 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}; \\ S_3 &= 9,6 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}; \\ \mu_3 &= 0,09 \text{ кг/(м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па)}; \\ \delta_3 &= 0,01 \text{ м.} \end{aligned}$$

Оскільки конструкція розміщена в I температурній зоні України, то $R_0 = 3,3 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$.

Розраховуємо товщину шару утеплювача для існуючого будівництва.
Термічний опір 1-го шару зовнішньої стіни (цегли):

$$R_1 = \frac{\delta_y}{\lambda_y} = \frac{0,38}{0,75} = 0,507 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Термічний опір 2-го шару зовнішньої стіни (утеплювача):

$$R_2 = \frac{\delta_y}{\lambda_y}, \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Термічний опір 3-го шару зовнішньої стіни (штукатурки):

$$R_3 = \frac{\delta_{ш}}{\lambda_{ш}} = \frac{0,01}{0,75} = 0,013 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Необхідний термічний опір шару утеплювача визначається за формулою:

$$R_2 = R_0 - \left(\frac{1}{\alpha_6} + R_1 + R_2 + \frac{1}{\alpha_3} \right), \quad (2.5)$$

$$R_2 = 3,3 - \left(\frac{1}{8,7} + 0,507 + 0,013 + \frac{1}{23} \right) = 2,62 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Необхідна товщина шару утеплювача

$$R_2 = 2,62 \cdot 0,044 = 0,115 \text{ м.}$$

Беремо товщину утеплювача $\delta_{ут} = 12 \text{ см}$

Виконаємо перевірку:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_6} + R_1 + R_2 + R_3 + \frac{1}{\alpha_3} = 3,4 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Оскільки $3,4 > 3,3$, то розрахунок і підбір утеплювача виконані правильно.

2.2 Теплотехнічний розрахунок перекриття над підвалом

Опір теплопередачі перекриття над неопалювальним підвалом визначається за методикою, аналогічною до теплотехнічного розрахунку зовнішньої стіни. Наводиться схема до теплотехнічного розрахунку перекриття над підвалом (рис. 2.3).

Для розрахунку наводять розрахункові теплотехнічні характеристики шарів будівельних матеріалів (наприклад, залізобетонне перекриття, звукоізоляція, теплоізоляція, цементно-піщана стяжка, покриття із паркету).

Розраховується товщина шару утеплювача перекриття над підвалом для існуючого будівництва.

Термічний опір 1-го шару перекриття над підвалом (залізобетонного перекриття):

$$R_1 = \frac{\delta_{зб}}{\lambda_{зб}}, \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Термічний опір 2-го шару перекриття над підвалом (звукоізоляції):

$$R_2 = \frac{\delta_{зв}}{\lambda_{зв}}, \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

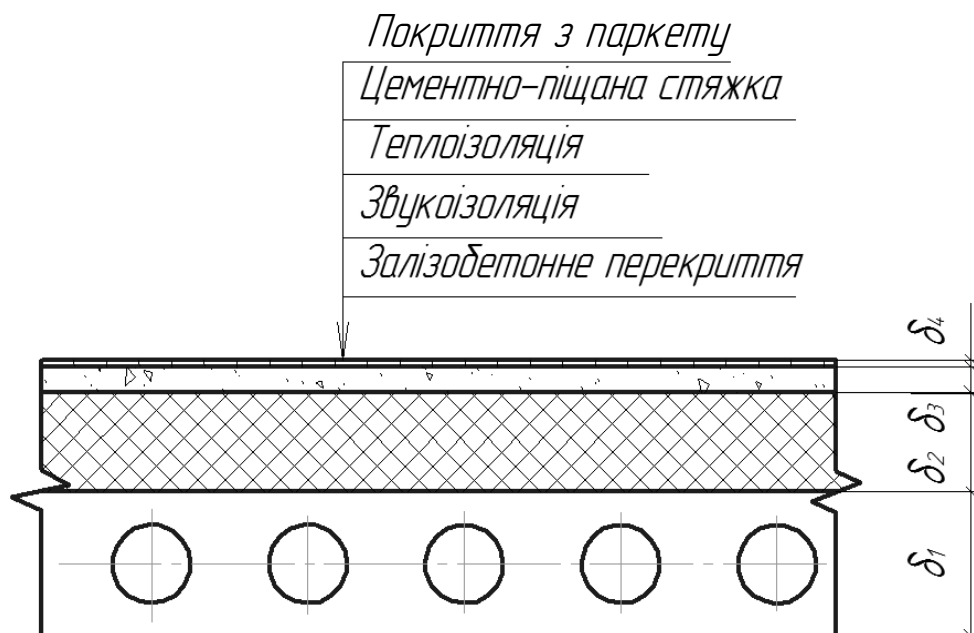


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема конструкції перекриття над підвалом

Термічний опір 3-го шару перекриття над підвалом (теплоізоляції):

$$R_3 = \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}}, (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

Термічний опір 4-го шару перекриття над підвалом (цементно-піщаної стяжки):

$$R_4 = \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}}, (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

Термічний опір 5-го шару перекриття над підвалом (паркету):

$$R_5 = \frac{\delta_n}{\lambda_n}, (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

Необхідний термічний опір шару утеплювача визначається за формулою:

$$R_3 = R_0 - (R_1 + R_2 + R_4 + R_5), \quad (2.6)$$

Виконується перевірка:

$$R_0 \geq R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5.$$

Якщо рівність справджується, то товщина утеплювача підібрано правильно.

2.3 Теплотехнічний розрахунок покрівлі

Теплотехнічний розрахунок покрівлі виконується аналогічно теплотехнічному розрахунку перекриття над підвалом.

Розрахункова схема конструкції покрівлі обирається відповідно до проектувально-конструктивних особливостей покрівлі.

3 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНОГО РЕЖИМУ ЗОВНІШНЬОЇ ЗАХИСНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

В процесі експлуатації властивості будівельних матеріалів, що становлять захисну конструкцію, можуть змінюватися під дією зовнішніх факторів.

Особливо важливе значення має збільшення вологості конструкцій, що призводить до зростання коефіцієнта теплопровідності та відповідно до погіршення теплоізоляційних властивостей будівельних матеріалів і конструкцій.

Значна залежність теплопровідності від вмісту води в матеріалі пояснюється витісненням повітря з пор водою, теплопровідність якої в 25 разів більша, ніж теплопровідність нерухомого повітря, що знаходиться в дрібних, рівномірно розподілених в матеріалі порах.

В таблиці 3.1 наведено розрахункові значення збільшення коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів залежно від вмісту в них води.

Таблиця 3.1 – Збільшення коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів залежно від вмісту в них води [4]

Ч.ч.	Найменування матеріалу	Фактичний вміст води, %		Підвищення коефіцієнта теплопровідності, %
		за об'ємом	за масою	
1	Цегла:			
	– повнотіла	1	-	20
	– пустотіла	2	-	12,5
2	Керамзитобетон, неущільнений бетон	4	-	10
3	Бетон з замкнутими порами, силікатні камені, шлакові і пемзові матеріали, шлакоблоки, бетон на цегельному бої, газо-, пінобетон, ксилоліт, засипки	5	-	12
4	Гіпсові плити	2	-	12,5
5	Волокнисті матеріали:			
	– мінеральні	-	5	2
	– рослинні	-	15	0,7
6	Пінопласти	-	5	2

При розрахунках вологопередачі через захисні конструкції потрібно знати вологісний стан повітря в приміщенні, який визначається виділенням вологи та повітрообміном. Джерелами вологи в житлових приміщеннях є побутові процеси, які в них протікають, а в промислових – технологічні. Для того щоб повністю забезпечити необхідні теплозахисні властивості захисних конструкцій, необхідно при проектуванні встановити можливі зміни вологості захисних конструкцій, щоб за допомогою конструктивних заходів запобігти порушенню нормального вологісного режиму в період експлуатації.

В таблиці 3.2 наведено розрахункові значення для визначення точки роси в огорожувальних конструкціях.

Таблиця 3.2 – Розрахункові значення для визначення точки роси [4]

Температура, внутрішнього повітря $t_{в}, ^\circ\text{C}$	Значення точки роси u %							
	40	45	50	55	60	65	70	75
12	-1,04		0,44		1,9			3,25
13	-0,25		1,35		2,82	4,18	5,42	6,58
14	0,63		2,26		3,76	5,11	6,36	7,53
15	1,51		3,17		4,68	6,04	7,3	8,48
16	2,41		4,08		5,6			6,97
17	3,31		4,99		6,52	7,9	9,18	10,37
19	4,2		5,9		7,44	8,83	10,12	11,32
20	5,09		6,81		8,36	9,76	11,06	12,27
21	6,0		7,72		9,28	10,69	12,0	13,22
22	6,9		8,62		10,2	11,62	12,94	14,17
23	7,69		9,52		11,12	12,56	13,88	15,12
24	8,68		10,43		12,03	13,48	14,48	16,07
25	9,57		11,34		12,94	14,41	15,76	17,02

Для прикладу, знайдемо точку роси в зовнішній стіні (див. рис. 2.2), що розміщено в м. Вінниця. Середньосічнева температура становить $-5,1 ^\circ\text{C}$.

Визначаємо температури на поверхнях захисної конструкції та на границях шарів:

$$t_i = t_g - \frac{t_g - t_x}{R_0} \cdot \Sigma R_x, \quad (3.1)$$

де t_g – температура всередині приміщення, °С;

t_x – середньосічнева температура відповідно до територіального розміщення конструкції, °С;

R_0 – термічний опір багат шарової конструкції, (м²·°С)/Вт.

Таким чином, температура на внутрішній поверхні конструкції:

$$t_{\text{вн}} = 20 - \frac{20 + 5,1}{3,4} \cdot \frac{1}{8,7} = 19,15 \quad (^\circ\text{C}).$$

температура на границі I і II шарів:

$$t_1 = 20 - \frac{20 + 5,1}{3,4} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 0,507 \right) = 15,41 \quad (^\circ\text{C}).$$

температура на границі II і III шарів:

$$t_2 = 20 - \frac{20 + 5,1}{3,4} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 0,507 + 2,73 \right) = -4,7 \quad (^\circ\text{C}).$$

температура на зовнішній поверхні:

$$t_3 = 20 - \frac{20 + 5,1}{3,4} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 0,507 + 2,73 + 0,013 \right) = -4,83 \quad (^\circ\text{C}).$$

За таблицями залежності парціального тиску водяної пари від температури при нормальному атмосферному тиску визначаються парціальні тиски на межі кожного шару конструкції E_g, E_1, E_2, E_3 , Па.

Парціальний тиск водяної пари в повітрі приміщення визначається за формулою:

$$e_{\text{вн}} = \frac{\varphi_g \cdot E_g}{100}. \quad (3.2)$$

Опір паропроникнення багатошарової захисної конструкції розраховується за формулою

$$R_{n.i} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} \quad (3.3)$$

Парціальні тиски водяної пари в перерізах захисної конструкції e_1, e_2, e_3 визначаються за формулою

$$e_i = e_6 - \frac{e_6 - e_3}{R_{n.i}} \cdot R_x \quad (3.4)$$

Результати розрахунків наносяться на графік (рис. 3.1), де по осі абсцис відкладено опори теплопередачі шарів, а по осі ординат – температури та парціальні тиски.

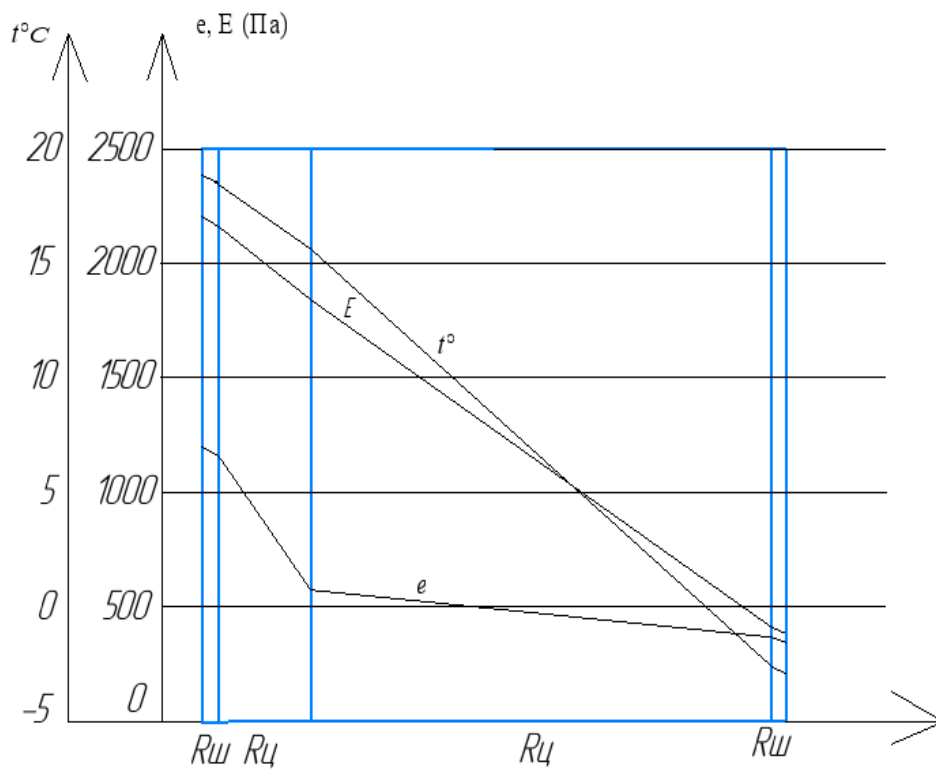


Рисунок 3.1 – Графік розподілу температур та парціальних тисків в площині захисної конструкції

4 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОСТІЙКОСТІ ОГОРОДЖЕНЬ ДЛЯ ЛІТНЬОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ

Для житлових та громадських будівель, навчальних та лікувальних закладів обов'язкове виконання умов:

- теплостійкості в літній період року зовнішніх огорожувальних конструкцій

$$A_{t_{\text{літ}}} \leq 2,5;$$

- теплостійкості в зимовий період року температури приміщень за наявності центрального опалення

$$A_{t_{\text{зим}}} \leq 1,5;$$

– за наявності теплоакumuляційного опалення:

$$A_{t_{\text{літ}}} \leq 2,5.$$

Розрахунок амплітуди коливань температури внутрішньої поверхні непрозорих конструкцій A_{t_g} , °С, виконується за формулою

$$A_{t_g} = \frac{A_{t_{3, \text{роз}}}}{\nu}, \quad (4.1)$$

де $A_{t_{3, \text{роз}}}$ – розрахункова амплітуда коливань температури зовнішнього повітря, °С, що визначається за формулою

$$A_{t_{3, \text{роз}}} = 0,5A_{t_3} + \frac{\chi(I_{\text{max}} - I_{\text{сер}})}{\alpha_{3л}}; \quad (4.2)$$

де ν – величина затухання розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря $A_{t_{3, \text{роз}}}$ в огорожувальній конструкції, що визначається за формулою

$$\nu = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(s_1 + \alpha_g)(s_2 + Y_1) \dots (s_n + Y_{n-1})(\alpha_{3л} + Y_n)}{(s_1 + Y_1)(s_2 + Y_2) \dots (s_n + Y_n)\alpha_{3л}}, \quad (4.3)$$

де A_{t_3} – максимальна амплітуда добових коливань температури зовнішнього повітря в липні, °С;

χ – коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції (табл. 4.1);

I_{max} , $I_{\text{сер}}$ – відповідно максимальне і середнє значення сумарної сонячної радіації (прямої і розсіяної), Вт/м²;

$\alpha_{\text{зл}}$ – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції за літніми умовами, Вт/(м²·°C);

D – теплова інерція огорожувальної конструкції;

s_1, s_2, \dots, s_n – розрахункові коефіцієнти теплосвоєння матеріалу окремих шарів огорожувальної конструкції, Вт/(м²·°C);

$Y_1, Y_2, \dots, Y_{n-1}, Y_n$ – коефіцієнти теплосвоєння зовнішньою поверхнею окремих шарів огорожувальної конструкції, Вт/(м²·°C);

Таблиця 4.1 – Коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції [3]

Матеріал зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції	Коефіцієнт поглинання сонячної радіації, χ
Алюміній	0,5
Азбестоцементний лист	0,65
Асфальтобетон	0,9
Бетон	0,7
Дерево нефарбоване	0,6
Захисний шар рулонної покрівлі зі світлого гравію	0,65
Цегла керамічна	0,7
Цегла силікатна	0,6
Облицювання природним каменем білим	0,45
Пофарбування силікатне темно-сіре	0,7
Пофарбування вапняне біле	0,3
Плитка облицювальна керамічна	0,8
Плитка облицювальна скляна	0,6
Плитка облицювальна біла або палева	0,45
Руберойд з піщаною засипкою	0,9
Сталь листова, пофарбована білою фарбою	0,45
Сталь листова, пофарбована темно-червоною фарбою	0,8
Сталь листова, пофарбована зеленою фарбою	0,6
Сталь покрівельна оцинкована	0,65
Скло облицювальне	0,7
Штукатурка вапняна темно-сіра або теракотова	0,7
Штукатурка цементна світло-блакитна	0,3
Штукатурка цементна темно-зелена	0,6
Штукатурка цементна кремова	0,4

Порядок нумерації шарів у формулі (4.3) вибирається у напрямку від внутрішньої поверхні конструкції до зовнішньої. Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції для умов літньої пори року $\alpha_{зл}$, Вт/(м²·°C), визначається за формулою

$$\alpha_{зл} = 1,16 (5 + 10\sqrt{v}), \quad (4.4)$$

де v – мінімальна з середніх швидкостей вітру по румбах за липень, м/с.

Коефіцієнт теплосвоєння зовнішньої поверхні шару Y , Вт/(м²·°C), з тепловою інерцією $D \geq 1$ потрібно брати таким, що дорівнює розрахунковому коефіцієнту теплосвоєння с матеріалу цього шару конструкції.

Коефіцієнт теплосвоєння зовнішньої поверхні шару Y з тепловою інерцією $D < 1$ визначають розрахунком, починаючи з першого шару (розраховуючи від внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції):

а) для першого шару за формулою

$$Y_1 = \frac{R_1 s_1^2 + \alpha_e}{1 + R_1 \alpha_e}; \quad (4.5)$$

б) для i -го шару за формулою

$$Y_i = \frac{R_i s_i^2 + Y_{i-1}}{1 + R_i Y_{i-1}}, \quad (4.6)$$

де R_1, R_i – термічні опори відповідно першого та i -го шарів огорожувальної конструкції, м²·°C/Вт.

5 РОЗРАХУНОК ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ ОГОРОДЖЕНЬ

Для огороджувальних конструкцій опалюваних будівель обов'язковим є виконання умови

$$R_g \geq R_{g_n}, \quad (5.1)$$

де R_g – опір повітропроникності огороджувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{год Па/кг}$;
 R_{g_n} – необхідний опір повітропроникності, $\text{м}^2 \cdot \text{год Па/кг}$.

Для непрозорих огороджувальних конструкцій необхідний опір повітропроникності на i -му поверсі, для якого виконується розрахунок, визначається за формулою

$$R_{g_n} = \frac{\Delta p}{G_n}, \quad (5.2)$$

де Δp – розрахункова різниця тисків, Па;

G_n – допустима повітропроникність огороджувальної конструкції, що встановлюється згідно з табл. 5.1 залежно від виду огороджувальної конструкції.

Таблиця 5.1 – Допустимі значення повітропроникності огороджувальних конструкцій, G_n [3]

Вид огороджувальної конструкції	Значення G_n
Зовнішні непрозорі конструкції житлових і громадських будівель	0,5 кг/($\text{м}^2 \cdot \text{год}$)
Зовнішні непрозорі конструкції промислових будівель	1,0 кг/($\text{м}^2 \cdot \text{год}$)
Стики між елементами (панелями) непрозорих конструкцій житлових і громадських будівель	0,5 кг/($\text{м} \cdot \text{год}$)
Стики між елементами (панелями) непрозорих конструкцій промислових будівель	1,0 кг/($\text{м} \cdot \text{год}$)
Світлопрозорі конструкції житлових та громадських будівель, виробничих будівель із кондиціонуванням приміщень	6,0 кг/($\text{м}^2 \cdot \text{год}$)
Світлопрозорі конструкції промислових будівель	10,0 кг/($\text{м}^2 \cdot \text{год}$)
Вхідні двері до квартир	1,5 кг/($\text{м}^2 \cdot \text{год}$)

Для світлопрозорих огорожувальних конструкцій необхідний опір повітропроникності визначається за формулою

$$R_{g \text{ н}} = \frac{(\Delta p / \Delta p_0)^{2/3}}{G_{\text{н}}}, \quad (5.3)$$

де $\Delta p_0 = 10$ Па – різниця тисків, за якою визначається масова повітропроникність світлопрозорої конструкції під час випробувань.

Розрахункова різниця тисків Δp , Па, визначається за формулою

$$\Delta p = (H - h_i)(\gamma_3 - \gamma_B) + 0,03\gamma_3 v^2 \beta_v, \quad (5.4)$$

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

h_i – висота від рівня підлоги першого поверху до середини огорожувальної конструкції i -го поверху, м;

γ_3, γ_B – питомі ваги відповідно зовнішнього та внутрішнього повітря, Н/м^3 , що розраховуються за формулами:

$$\gamma_3 = 3463 / (273 + t_3), \quad \gamma_B = 3463 / (273 + t_B), \quad (5.5)$$

де t_3 – розрахункове значення температури зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$, що вибирається залежно від температурної зони;

t_B – розрахункове значення температури внутрішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$;

v – максимальна із середніх швидкостей вітру за румбами за січень, м/с, повторюваність яких становить 16 % та більше;

β_v – коефіцієнт, що враховує зміну швидкості повітря за висотою будівлі, який вибирається згідно з табл. 5.2.

Опір повітропроникності непрозорих огорожувальних конструкцій розраховується за формулою

$$R_{g \text{ нк}} = \sum_{i=1}^N R_{g_i}, \quad (5.6)$$

де R_{g_i} – опір повітропроникності i -го шару конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па/кг}$, що вибирається згідно з табл. 5.3;

N – кількість шарів у конструкції.

Таблиця 5.2 – Коефіцієнт урахування швидкості руху зовнішнього повітря залежно від висоти будівлі [3]

Висота будівлі, h_i , м	Коефіцієнт β_v залежно від місцевості		
	А	В	С
≤ 5	0,75	0,50	0,40
10	1,00	0,65	0,40
20	1,25	0,85	0,55
40	1,50	1,10	0,80
60	1,70	1,30	1,00
80	1,85	1,45	1,15
100	2,00	1,60	1,25
150	2,25	1,90	1,55
200	2,45	2,10	1,80
250	2,65	2,30	2,00
300	2,75	2,50	2,20
350	2,75	2,75	2,35

Примітка 1. А – відкрите узбережжя моря, озера, водосховища, поле.

В – територія, лісовий масив тощо з рівномірно розташованими перешкодами заввишки понад 10 м.

С – місцевість з розташованими будівлями заввишки понад 25 м.

Примітка 2. Споруда вважається розташованою на місцевості заданого типу, якщо ця місцевість є незмінною з навітряного боку споруди на відстань до $30h$ при висоті споруди до 60 м та 2 км – при більшій висоті будівлі.

Таблиця 5.3 – Значення опору повітропроникності будівельних матеріалів та виробів [3]

Матеріали та конструкції	Товщина шару, мм	Опір повітропроникності R_g , м ² ·год Па/кг
Бетон суцільний (без швів)	100	19620
Газо- та пінозобетон суцільний (без швів)	140	21
Вапняк-черепашник	500	6
Картон будівельний (без швів)	1,3	64
Цегляне мурування із суцільної цегли на цементно-піщаному розчині завтовшки в половину цеглини	120	2
Цегляне мурування із суцільної цегли на цементно-шлаковому розчині завтовшки в одну цеглину та більше	250 та більше	9
Цегляне мурування з керамічної порожнистої цегли на цементно-піщаному розчині завтовшки в 1/2 цеглини	-	2
Мурування із легкобетонного каменя на цементно-піщаному розчині	400	13
Мурування із легкобетонного каменя на цементно-шлаковому розчині	400	1
Листи азбестоцементні із закладанням швів	8	196
Обшивка з обрізаних дощок, які з'єднані впритул у чверть або шпунт	20-25	1,5
Ніздрюватий бетон автоклавний	100	1960
Пінополістирол	50-100	79
Піноскло суцільне (без швів)	120	Повітро-непроникне
Плити мінераловатні жорсткі	50	2
Руберойд	1,5	Повітро-непроникне
Плити фанерні клеєні (без швів)	3-4	2940
Штукатурка на цементно-піщаному розчині по кам'яному або цегляному муруванню	15	373
Штукатурка вапняна по кам'яному або цегляному муруванню	15	142
Повітряні прошарки, мати та плити м'які з мінеральної вати та пухких матеріалів, засипки з керамзиту, піску тощо	Незалежно	0

6 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОЗАСВОЄННЯ ПОВЕРХНІ ПІДЛОГИ

Показник теплосвоєння поверхнею підлоги $Y_{\text{П}}$, Вт/(м²·°С), визначають:

а) якщо покриття підлоги (перший шар конструкції підлоги) має теплову інерцію $D_1 = R_1 s_1 \geq 0,5$, показник теплосвоєння поверхнею підлоги визначають за формулою

$$Y_{\text{П}} = 2s_1 ; \quad (6.1)$$

б) якщо перші n шарів конструкції підлоги ($n \geq 1$) мають теплову інерцію

$$D_1 + D_2 + \dots + D_n < 0,5,$$

але теплова інерція $n + 1$ шарів

$$D_1 + D_2 + \dots + D_{n+1} \geq 0,5,$$

показник теплосвоєння підлоги $Y_{\text{П}}$ визначається послідовним розрахунком показників теплосвоєння поверхнями шарів конструкції, починаючи з n -го до 1-го за формулами:

– для n -го шару

$$Y_n = \frac{2 \cdot R_n \cdot s_n^2 + s_{n+1}}{0,5 + R_n \cdot s_{n+1}} ; \quad (6.2)$$

– для i -го шару ($i = n-1; n-2; \dots; 1$)

$$Y_i = \frac{4 \cdot R_i \cdot s_i^2 + Y_{i+1}}{1 + R_i \cdot s_{i+1}} , \quad (6.3)$$

де D_1, D_2, \dots, D_{n+1} – теплова інерція відповідно 1-го, 2-го, ..., ($n+1$)-го шарів конструкції підлоги;

R_i, R_n – термічні опори, м²·°С/Вт, i -го й n -го шарів конструкції;

s_1, s_2, s_n, s_{n+1} – розрахункові коефіцієнти теплосвоєння матеріалу 1-го, 2-го, ..., n , ($n+1$)-го шарів конструкції підлоги, Вт/(м²·°С);

Y_{i+1} – показник теплосвоєння поверхні ($i+1$)-го шару конструкції підлоги, Вт/(м²·°С).

Показник теплосвоєння поверхнею підлоги $Y_{\text{П}}$ вибирається таким, що дорівнює показнику теплосвоєння поверхні 1-го шару Y_1 .

7 ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН НАДХОДЖЕНЬ ТЕПЛА В БУДІВЛЮ ВІД ІНСОЛЯЦІЇ

Розрахунок ведемо для липня місяця. В проекті задано дерев'яні вікна з подвійним склінням, які ущільнені пінополіуретановою самозатухаючою пінкою. Вікна заklenі безбарвним склом товщиною 3 мм. Відповідно до кліматичних умов для м. Львів маємо: $t_{в}=22$ °С; $t_{з}=24$ °С, максимальне надходження тепла о 12 годині, опівдні. Для зменшення інсоляції встановлено внутрішні штори з тонкої тканини середнього, за темнотою, забарвлення [1].

Надходження тепла в приміщення за рахунок інсоляції та різниці температур внутрішнього та зовнішнього повітря крізь світлові прорізи Q_0 , визначається за формулою:

$$Q_0 = (q' \cdot F_0' + q'' \cdot F_0'') \cdot c + \frac{t_з - t_в}{R_0} \cdot F_0, \quad (7.1)$$

де q' , q'' – кількості тепла, що надходить в приміщення в липні крізь скління світлових отворів, Вт/м²;

$F_0 = F_0' + F_0''$ – площа світлових отворів, м²;

F_0' , F_0'' – площі світлових отворів, що опромінюються і не опромінюються прямою сонячною радіацією, відповідно, м²;

c – коефіцієнт сонцезахисту;

R_0 – опір теплопередачі заповнення світлового отвору;

$t_з$, $t_в$ – розрахункові температури зовнішнього та внутрішнього повітря, °С.

Значення величин q' і q'' для розрахункової години доби (за дійсним сонячним часом) визначають залежно від географічної широти місця забудови та орієнтації вікон за сторонами світу.

Значення величин q' і q'' визначається за формулою:

$$q' = (q_{п.п.} + q_{п.р.}) \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (7.2)$$

де $q_{п.п.}$ і $q_{п.р.}$ – надходження тепла, Вт/м² відповідно від прямої та розсіяної сонячної радіації в липні крізь вертикальне скління світлового отвору;

K_1 – коефіцієнт, що враховує затінення світлових прорізів та забруднення атмосфери пилом;

K_2 – коефіцієнт, що враховує забруднення віконного скла.

$$q' = q_{п.р.} \cdot K_1 \cdot K_2. \quad (7.3)$$

Початкові дані для розрахунку наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Початкові дані для розрахунку надходження тепла в будівлю від інсоляції

Ч.ч.	F, м ²	Орієнтація за сторонами світу	K_1	K_2	$q_{в.п.}^?$ Вт/м ²	$q_{в.р.}^?$ Вт/м ²
1		Пн	0,6	0,95		
2		ПнСх	0,6	0,95		
3		Сх	0,6	0,95		
4		ПдСх	0,6	0,95		
5		Пд	0,6	0,95		
6		ПдЗ	0,6	0,95		
7		З	0,6	0,95		
8		ПнЗ	0,6	0,95		

Інсоляція в житлові приміщення обчислюється як сума теплоти, що надходить через світлопрозорі отвори захисної конструкції з усіх сторін світу.

8 ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ БУДІВЛІ

Питомі тепловитрати на опалення будівель мають відповідати умові

$$q_{\text{буд}} \leq E_{\text{max}} , \quad (8.1)$$

де $q_{\text{буд}}$ – розрахункові або фактичні питомі тепловитрати;

E_{max} – максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будівлі за опалювальний період, кВт·год/м² або кВт·год/м³, що встановлюється залежно від призначення будівлі, її поверховості та температурної зони експлуатації будівлі.

Розрахункове значення питомих тепловитрат на опалення будівлі за опалювальний період $q_{\text{буд}}$, кВт · год/м² або кВт · год/м³, визначається за формулою

$$q_{\text{буд}} = Q_{\text{рік}} / F_h \quad \text{або} \quad q_{\text{буд}} = Q_{\text{рік}} / V_h , \quad (8.2)$$

де $Q_{\text{рік}}$ – витрати теплової енергії на опалення будівлі протягом опалювального періоду року, кВт·год, що визначається на підставі результатів енергетичного аудиту будівлі або за результатами розрахунків;

F_h, V_h – опалювана площа або об'єм будівлі, м² або м³.

Розрахункові витрати теплової енергії $Q_{\text{рік}}$ визначаються за формулою

$$Q_{\text{рік}} = [Q_k - (Q_{\text{вн п}} + Q_s) \cdot v \cdot \zeta] \cdot \beta_h , \quad (8.3)$$

де Q_k – загальні тепловтрати будівлі через огорожувальну оболонку будівлі, кВт·год, визначаються за формулою

$$Q_k = \chi_1 \cdot K_{\text{буд}} \cdot D_d \cdot F_{\Sigma} , \quad (8.4)$$

де $\chi_1 = 0,024$ – розмірний коефіцієнт;

$K_{\text{буд}}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будівлі, Вт/(м²·°С), визначається за формулою

$$K_{\text{буд}} = k_{\Sigma\text{пр}} + k_{\text{інф}} , \quad (8.5)$$

де $k_{\Sigma\text{пр}}$ – приведений коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будівлі, Вт/(м²·К), що визначається за формулою

$$k_{\Sigma\text{пр}} = \xi (F_{\text{нп}} / R_{\Sigma\text{прнп}} + F_{\text{сп}} / R_{\Sigma\text{прсп}} + F_{\text{д}} / R_{\Sigma\text{прд}} + F_{\text{пк}} / R_{\Sigma\text{прпк}} + F_{\text{ц}} / R_{\Sigma\text{прц}}) / F_{\Sigma} , \quad (8.6)$$

де ξ – коефіцієнт, що враховує додаткові тепловтрати, пов'язані з орієнтацією огорож за сторонами світу, наявністю кутових приміщень, надхо-

дженням холодного повітря через входи в будівлю; для житлових будівель $\xi = 1,13$, для інших будівель – $\xi = 1,1$;

$F_{\text{нп}}, F_{\text{сп}}, F_{\text{д}}, F_{\text{пк}}, F_{\text{ц}}$ – площа відповідно стін (непрозорих частин), світлопрозорих конструкції (вікон, ліхтарів), зовнішніх дверей і воріт, покриттів (горищних перекриттів), цокольних перекриттів, м^2 ;

$R_{\Sigma\text{прнп}}, R_{\Sigma\text{прсп}}, R_{\Sigma\text{пр д}}, R_{\Sigma\text{прпк}}, R_{\Sigma\text{пр ц}}$ – приведений опір теплопередачі відповідно стін, світлопрозорих конструкцій (вікон, ліхтарів), зовнішніх дверей і воріт, покриттів (горищних перекриттів), цокольних перекриттів, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$; підлог по ґрунту – з урахуванням їх поділу на зони із значенням опору теплопередачі;

F_{Σ} – внутрішня загальна площа огорожувальних конструкцій частини будівлі, що опалюється, з урахуванням покриття (перекриття) верхнього поверху й перекриття підлоги нижнього опалюваного приміщення, м^2 ;

$k_{\text{інф}}$ – умовний коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій будівлі, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$, що враховує тепловтрати за рахунок інфільтрації та вентиляції, визначається за формулою

$$k_{\text{інф}} = \chi_2 \cdot c \cdot n_{\text{об}} \cdot v_v \cdot V_h \cdot \gamma_3 \cdot \eta / F_{\Sigma}, \quad (8.7)$$

де $\chi_2 = 0,278$ – розмірний коефіцієнт;

c – питома теплоємність повітря, береться $1 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{°C})$;

$n_{\text{об}}$ – середня кратність повітрообміну будівлі за опалювальний період, год^{-1} , що визначається експериментально або вибирається за нормами проектування будівель;

v_v – коефіцієнт зниження об'єму повітря у будівлі, яким враховується наявність внутрішніх огорожувальних конструкцій. За відсутності точних даних береться $v_v = 0,85$;

γ_3 – середня густина повітря, що надходить до приміщення за рахунок інфільтрації та вентиляції, $\text{кг} / \text{м}^3$, визначається за формулою

$$\gamma_3 = 353 / [273 + 0,5 \cdot (t_{\text{в}} + t_{\text{оп з}})], \quad (8.8)$$

де $t_{\text{в}}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря приміщень будівель, °C ;

$t_{\text{оп з}}$ – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період, °C ;

η – коефіцієнт впливу зустрічного теплового потоку в огорожувальних конструкціях, що вибирається $0,7$ – для стиків панелей стін, а також багатостулкових вікон; $0,8$ – для двостулкових вікон і балконних дверей; $1,0$ – для одностулкових вікон і балконних дверей; при цьому коефіцієнт η вибирається за найбільшим значенням, єдиним для всього будівлі.

Кількість градусо-днів опалювального періоду, що визначається за формулою:

$$D_d = (t_b + t_{опз}) \cdot z_{оп}, \quad (8.9)$$

де $z_{оп}$ – тривалість, днів, опалювального періоду;

$Q_{внп}$ – побутові теплонадходження протягом опалювального періоду, кВт;

Q_s – теплові надходження через вікна від сонячної радіації протягом опалювального періоду, кВт·год, для чотирьох фасадів будівель, орієнтованих за чотирма сторонами світу – північ (Пн), схід (С), південь (Пд) і захід (З) або за проміжними напрямками (північ – захід (ПнЗ), північ – схід (ПнС), південь – схід (ПдС) і південь – захід (ПдЗ)), визначаються за формулою

$$Q_s = \zeta_v \epsilon_v (F_{Пн} I_{Пн} + F_C I_C + F_{Пд} I_{Пд} + F_Z I_Z) + \zeta_{зл} \epsilon_{зл} F_{спл} I_\Gamma, \quad (8.10)$$

де $\zeta_v, \zeta_{зл}$ – коефіцієнти, що враховують затінення світлового прорізу відносно вікон і zenітних ліхтарів непрозорими елементами заповнення (табл. 8.1);

$\epsilon_v, \epsilon_{зл}$ – коефіцієнти відносного проникнення сонячної радіації для світлопрозорих заповнень вікон і zenітних ліхтарів; мансардні вікна з кутом нахилу заповнень до обрію 45° і більше варто вважати як вертикальні вікна, з кутом нахилу менше 45° – як zenітні ліхтарі (табл. 8.1);

$F_{Пн}, F_C, F_{Пд}, F_Z$ – площа світлових прорізів фасадів будівлі, відповідно орієнтованих за чотирма сторонами світу, m^2 ;

$F_{спл}$ – площа світлових прорізів zenітних ліхтарів будівлі, m^2 ;

$I_{Пн}, I_C, I_{Пд}, I_Z$ – суми сумарної сонячної радіації за опалювальний період, що надходить на вертикальну поверхню різної орієнтації за середніх умов хмарності, кВт·год/ m^2 ;

I_Γ – сума сумарної сонячної радіації за опалювальний період, що надходить на горизонтальну поверхню за середніх умов хмарності, кВт·год/ m^2 .

ν – коефіцієнт, що враховує здатність огороджувальних конструкцій будівель акумулювати або віддавати тепло при періодичному тепловому режимі; за відсутності точних даних потрібно брати $\nu = 0,8$;

ζ – коефіцієнт авторегулювання подавання тепла в системах опалення; рекомендовані значення:

$\zeta = 1,0$ – в однотрубній системі з термостатами та з пофасадним авторегулюванням на індивідуальні теплові пункти (ІТП) або поквартирним горизонтальним розведенням;

$\zeta = 0,95$ – у двотрубній системі опалення з термостатами та з центральним авторегулюванням на ІТП;

- $\zeta = 0,9$ – в однотрубній системі з термостатами та з центральним авторегулюванням на ІТП, а також у двотрубній системі опалення з термостатами і без авторегулювання на ІТП;
- $\zeta = 0,85$ – в однотрубній системі опалення з термостатами і без авторегулювання на ІТП;
- $\zeta = 0,7$ – у системі без термостатів та з центральним авторегулюванням на ІТП з коригуванням за температурою внутрішнього повітря;
- $\zeta = 0,5$ – у системі без термостатів та без авторегулювання на ІТП (регулювання центральне в ІТП або котельні);

β_h – коефіцієнт, що враховує додаткове теплоспоживання системою опалення, пов'язане з дискретністю номінального теплового потоку номенклатурного ряду опалювальних приладів і додатковими тепловтратами через радіаторні ділянки огорож, тепловтратами трубопроводів, що проходять через неопалювані приміщення: для багатосекційних та інших протяжних будівель $\beta_h = 1,13$, для будівель баштового типу – $\beta_h = 1,11$.

Таблиця 8.1 – Значення коефіцієнтів затінення світлового прорізу ζ_B , $\zeta_{3л}$ і відносного проникнення сонячної радіації, ϵ_B , $\epsilon_{3л}$ відповідно вікон та зенітних ліхтарів [3]

Заповнення світлового прорізу	Коефіцієнти ζ_B і $\zeta_{3л}$; ϵ_B і $\epsilon_{3л}$			
	при дерев'яних або ПВХ плетіннях		при алюмінієвих плетіннях	
	ζ_B і $\zeta_{3л}$	ϵ_B і $\epsilon_{3л}$	ζ_B і $\zeta_{3л}$	ϵ_B і $\epsilon_{3л}$
Подвійне скління з селективним <i>i</i> -покриттям на внутрішньому склі:				
– однокамерні склопакети в одинарних плетіннях	0,80	0,54	0,80	0,54
– подвійне скління в спарених плетіннях	0,75	0,65	0,70	0,65
– подвійне скління в роздільних плетіннях	0,65	0,60	0,60	0,60
Потрійне скління із звичайного скла в окремо спарених плетіннях	0,50	0,70	0,50	0,70
Однокамерні склопакети й одинарне скління у роздільних плетіннях	0,60	0,63	0,60	0,63
Однокамерний склопакет із селективним покриттям і одинарне скління у роздільних плетіннях	0,60	0,58	0,60	0,58
Двокамерні склопакети із селективним покриттям на внутрішньому склі та в одинарному плетінні	0,8	0,48	0,8	0,48

Опалювана площа будівлі визначається як площа поверхів (зокрема й мансардного опалюваного цокольного й підвального) будівлі, яка вимірюється у межах внутрішніх поверхонь зовнішніх стін, що враховує й площу, яку займають перегородки і внутрішні стіни. При цьому площа сходових кліток і ліфтових шахт відноситься до площі поверху.

До опалюваної площі будівлі не вносяться площі теплих горищ і підвалів, неопалюваних технічних поверхів, підвалу (підпілля), холодних неопалюваних веранд, сходових кліток, а також холодного горища або його частини, не зайнятої під мансарду.

Площа житлових приміщень будівлі визначається як сума площ усіх спільних кімнат (вітальень) і спалень.

Загальна площа зовнішніх стін (з урахуванням віконних і дверних прорізів) визначається як добуток периметра зовнішніх стін по внутрішній поверхні на внутрішню висоту будівлі, що вимірюється від поверхні підлоги першого поверху до поверхні стелі останнього поверху з урахуванням площі віконних і дверних укосів глибиною від внутрішньої поверхні стіни до внутрішньої поверхні віконного або дверного блока. Сумарна площа вікон визначається за розмірами прорізів у світлі. Площа зовнішніх стін (непрозорої частини) визначається як різниця загальної площі зовнішніх стін і площі вікон та зовнішніх дверей.

Площа горизонтальних зовнішніх огорожувальних конструкцій (покриття, горищного й цокольного перекриття) визначається як площа поверху будівлі (у межах внутрішніх поверхонь зовнішніх стін). При похилих поверхнях стель останнього поверху площа покриття, горищного перекриття визначається як площа внутрішньої поверхні стелі.

9 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПАСПОРТ БУДІВЛІ

Енергетичний паспорт будівлі складається задля визначення розрахункових показників енергетичних характеристик об'єктів будівництва. В цьому документі зазначаються енергетичні характеристики (згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2016), які дають змогу визначити відповідність цих показників вимогам до енергетичної ефективності будівель.

Складання енергетичного паспорта регламентовано чинним законодавством і має на меті стимулювання зменшення використання енергоресурсів. Складання проектно-кошторисної документації на будівлю неможливе за відсутності енергетичного паспорта для всіх бюджетних установ без винятку.

Енергетичний паспорт будівлі оформлюється після завершення попередніх розрахунків у вигляді табл. 9.1–9.5.

Таблиця 9.1 – Загальна інформація [3]

Дата заповнення (рік, місяць, число)	
Адреса будівлі	
Розробник проекту	
Адреса і телефон розробника	
Шифр проекту будівлі	
Рік будівництва	

Таблиця 9.2 – Розрахункові параметри [3]

Найменування розрахункових параметрів	Позначення	Одиниця виміру	Величина
Розрахункова температура внутрішнього повітря	$t_{в}$	°С	
Розрахункова температура зовнішнього повітря	$t_{з}$	°С	
Розрахункова температура теплого горища'	$t_{вг}$	°С	
Розрахункова температура техпідпілля	$t_{ц}$	°С	
Тривалість опалювального періоду	$z_{оп}$	доба	
Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період	t	°С	
Розрахункова кількість градусо-днів опалювального періоду	D_d	°С доба	
Функціональне призначення, тип і конструктивне рішення будівлі			
Призначення			
Розміщення в забудові			
Типовий проект, індивідуальний			
Конструктивне рішення			

Таблиця 9.3 – Геометричні, теплотехнічні та енергетичні показники [3]

Показники	Позначення і розмірність показника	Нормативне значення показника	Розрахункове значення показника	Фактичне значення показника
1	2	3	4	5
Геометричні показники				
Загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі	$F_{\Sigma}, \text{м}^2$	–		
В тому числі:				
– стін	$F_{\text{ст}}, \text{м}^2$	–		
– вікон і балконних дверей	$F_{\text{спв}}, \text{м}^2$	–		
– вітражів	$F_{\text{сп вт}}, \text{м}^2$	–		
– ліхтарів	$F_{\text{сп л}}, \text{м}^2$	–		
– покриттів (суміщених)	$F_{\text{пк}}, \text{м}^2$	–		
– горищних перекриттів (холодного горища)	$F_{\text{пк хг}}, \text{м}^2$	–		
– перекриттів теплих горищ	$F_{\text{пк тг}}, \text{м}^2$	–		
– перекриттів над техпідпіллями	$F_{\text{ц1}}, \text{м}^2$	–		
– перекриттів над неопалюваними підвалами і підпіллями	$F_{\text{ц2}}, \text{м}^2$	–		
– перекриттів над проїздами і під еркерами	$F_{\text{ц3}}, \text{м}^2$	–		
– підлоги по ґрунту	$F_{\text{ц}}, \text{м}^2$	–		
Площа опалюваних приміщень	$F_h, \text{м}^2$	–		
Корисна площа (для громадських будівель)	$F_{\text{лк}}, \text{м}^2$	–		
Площа житлових приміщень і кухонь	$F_{\text{лж}}, \text{м}^2$	–		
Розрахункова площа (для громадських будівель)	$F_{\text{лр}}, \text{м}^2$	–		
Опалюваний об'єм	$V_h, \text{м}^3$	–		
Коефіцієнт скління фасадів будівлі	$m_{\text{ск}}$	–		
Показник компактності будівлі	$\Lambda_{\text{к буд}}$	–		

Продовження табл. 9.3

1	2	3	4	5
Теплотехнічні та енергетичні показники				
Теплотехнічні показники				
Приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій:	$R_{\Sigma пр}$ $m^2 \cdot ^\circ C / W$			
– стін	$R_{\Sigma пр нп}$			
– вікон і балконних дверей	$R_{\Sigma пр сп в}$			
– вітражів	$R_{\Sigma пр сп вт}$			
– ліхтарів	$R_{\Sigma пр сп л}$			
– вхідних дверей, воріт	$R_{\Sigma пр д}$			
– покриттів (суміщених)	$R_{\Sigma пр пк}$			
– горищних перекриттів (холодних горищ)	$R_{\Sigma пр г}$			
– перекриттів теплих горищ (включно й покриття)	$R_{\Sigma пр тр}$			
– перекриттів над техпідпіллями	$R_{\Sigma пр ц1}$			
– перекриттів над неопалюваними підвалами або підпіллями	$R_{\Sigma пр ц2}$			
– перекриттів над проїздами й під еркерами	$R_{\Sigma пр ц3}$			
– підлоги по ґрунту	$R_{\Sigma пр ц}$			
Енергетичні показники				
Розрахункові питомі тепловитрати	$q_{буд}$ $kW \cdot год / m^2$			
Максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будівлі	E_{max} $kW \cdot год / m^2$			
Клас енергетичної ефективності				
Термін ефективної експлуатації теплоізоляційної оболонки та її елементів				
Відповідність проекту будівлі нормативним вимогам				
Необхідність доопрацювання проекту будівлі				

Таблиця 9.4 – Класифікація будівель за енергетичною ефективністю [3]

Класи енергетичної ефективності будівлі	Різниця в % розрахункового або фактичного значення питомих тепловитрат, $q_{\text{буд}}$, від максимально допустимого значення, E_{max} , $[(q_{\text{буд}} - E_{\text{max}}) / E_{\text{max}}] \cdot 100\%$
A	<i>Мінус 50 та менше</i>
B	<i>Від мінус 49 до мінус 10</i>
C	<i>Від мінус 9 до 0</i>
D	<i>Від 1 до 25</i>
E	<i>Від 26 до 75</i>
F	<i>76 та більше</i>

Таблиця 9.5 – Висновки за результатами оцінення енергетичних параметрів будівлі [3]

Вказівки щодо підвищення енергетичної ефективності будівлі	
Рекомендовано: — —	
Паспорт заповнений:	
Організація Адреса і телефон Відповідальний виконавець	

Література

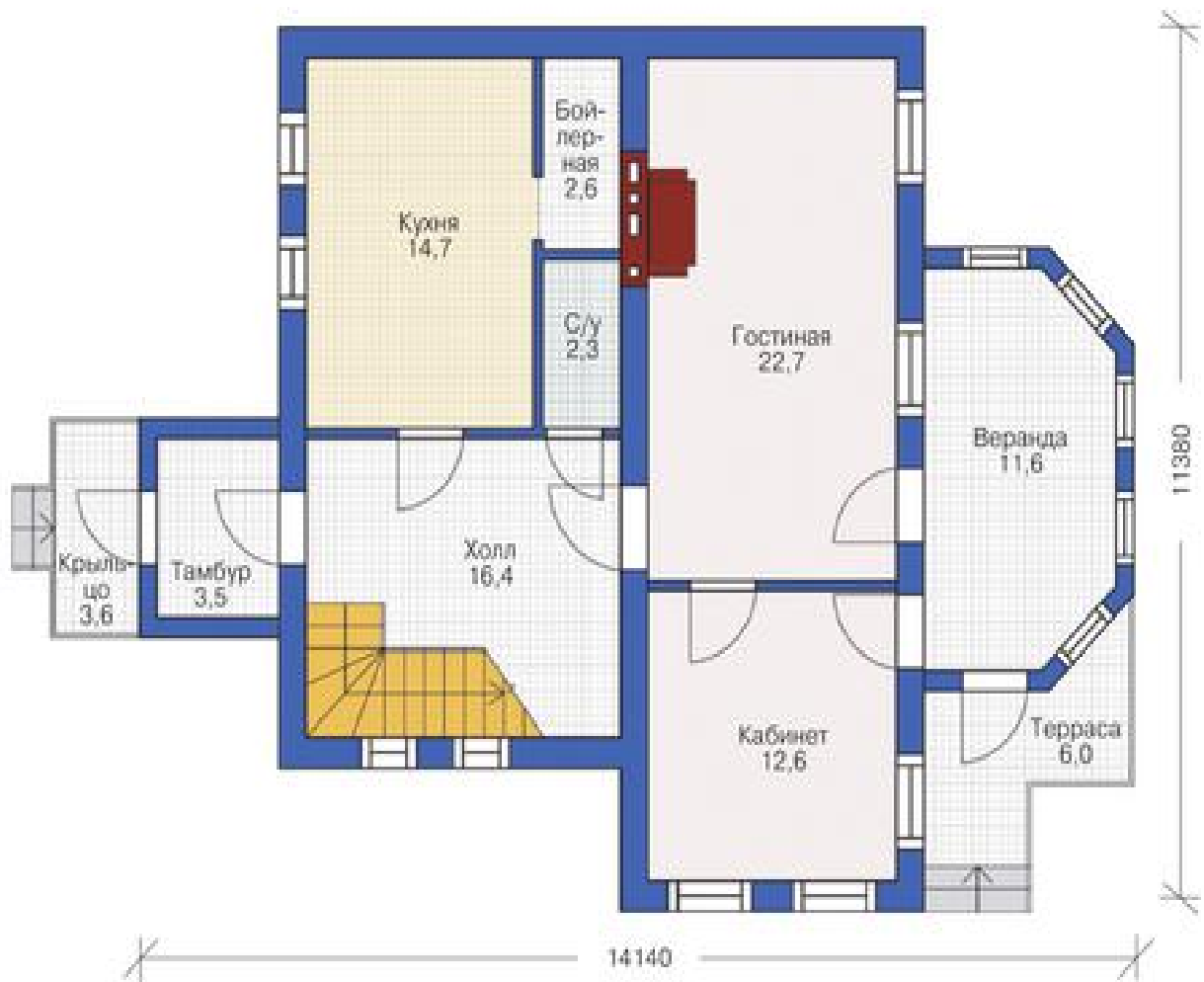
1. ДБН В.2.6-31:2016. Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України , 2016. – 33 с.
2. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування повітря. – К. : Мінрегіонбуд, 2013. – 141 с.
3. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К. : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України , 2006. – 69 с.
4. Пономарчук І. А. Опалення : навчальний посібник / І. А. Пономарчук, К. В. Колесник. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 127 с.
5. Пономарчук І. А. Опалення : практикум / І. А. Пономарчук, К. В. Анохіна. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 62 с.
6. Ратушняк Г. С. Будівельна теплофізика : навчальний посібник / Г. С. Ратушняк, Г. С. Попова. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 119 с.

Додаток А

Варіант 1



Вариант 2



Вариант 3



Вариант 4



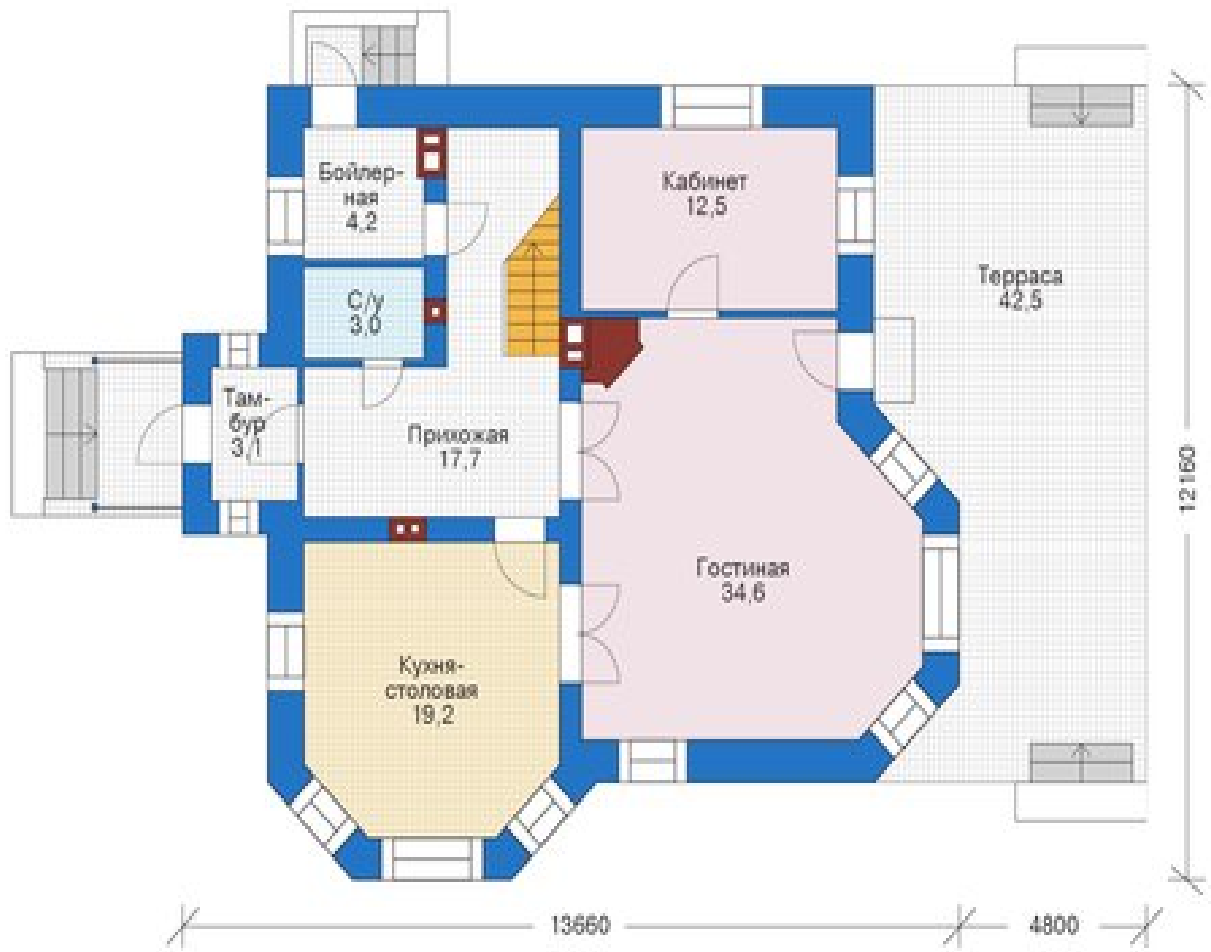
Вариант 5



Вариант 6



Вариант 7



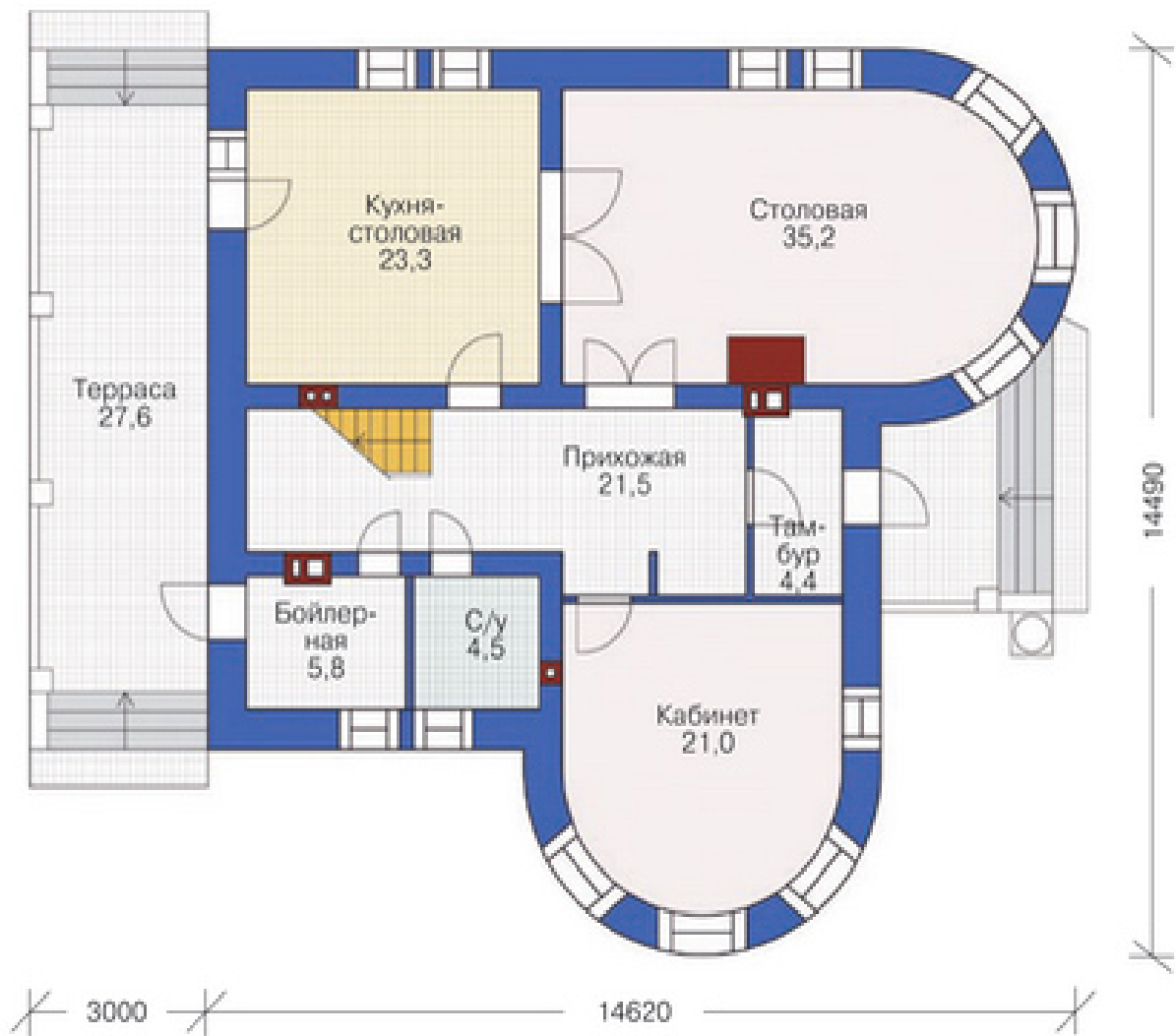
Вариант 8



Вариант 9



Вариант 10



Навчальне видання

**Ратушняк Георгій Сергійович
Анохіна Катерина Володимирівна**

БУДІВЕЛЬНА ТЕПЛОФІЗИКА

Практикум

Рукопис оформлено *К. Анохіною*

Редактор *Т. Старічек*

Оригінал-макет виготовлено *Т. Крикливою*

Підписано до друку 08.04.2021.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 3,06.
Наклад 50 (1-й запуск 1–21) пр. Зам. № 2021-030.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
інформаційний редакційно-видавничий центр.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 65-18-06.
press.vntu.edu.ua;
E-mail: kivc.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.