

ЗМІСТ

1	Перевірка огорожуючих конструкцій на відповідність вимогам ДБН В.2.6-31	2
1.1	Розрахунок термічного опору. стіна №1.	2
1.2	Оцінка тепловологісного стану конструкції. стіна №1.	4
1.2.7	Розрахунок вологонакопичення в місяці січень:	5
1.3	Розрахунок масової повітрепроникності огорожувальної конструкції. стіна №1.	6
1.4	Оцінка теплостійкості в літній період. стіна №1.....	8
	Додаток 1. стіна №1	11
1.5	Розрахунок лінійного коефіцієнта теплопередачі Ψ : Стіна з термовключеннями	11
1.5.1	Конструкція вузла.....	11
1.5.2	Вихідні дані	11
1.5.3	Розрахунок лінійного коефіцієнту термічного включення.....	11
1.5.4	Загальний результат.....	12
1.5.5	Графічні результати та таблиці FEM-моделі.....	13

						Приклад теплотехнічного розрахунку		
Зм.	Кільк.	Арк.	№Док.	Підпис	Дата			
						Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив							1	15
Перевірив								

1 Перевірка огорожжувальних конструкцій на відповідність вимогам ДБН В.2.6-31

1.1 Розрахунок термічного опору. стіна №1.

Визначимо термічний опір фрагменту конструкції згідно з вимогами ДСТУ 9191:2022.

1.1.1 Опис конструкції. Загальна товщина конструкції складає 0.100 м. Кількість шарів конструкції - 2. Шар №1 Спінений пінополістирол з густиною 15 кг/м³ та товщиною 0.050 м. Шар №2 Спінений пінополістирол з густиною 15 кг/м³ та товщиною 0.050 м. Шар №1 містить термічне включення Мінеральна вата (базальтове волокно) з густиною 30 кг/м³ з кроком 0.400 м, шириною 0.100 м та товщиною 0.050 м.

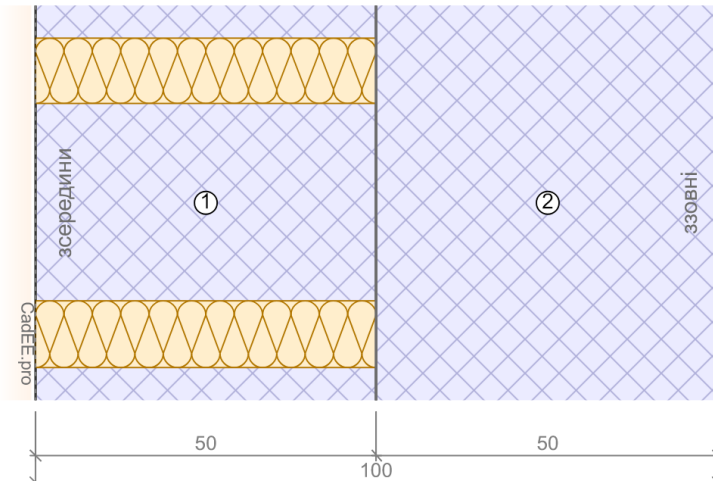


Рисунок 1. Розріз огорожжувальної конструкції

1.1.2 Вологісні умови експлуатації матеріалів огорожжувальної конструкції визначено згідно з додатком Б ДБН В.2.6-31:2021 . Призначення будівлі - одноквартирний будинок, для якої згідно з т.Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 розрахункові значення температури і вологості приміщень $\theta_{int} = 20^\circ\text{C}$, $\phi_{int} = 55\%$ відповідно. Вологісний режим приміщень приймаємо згідно з т.Б.1 ДБН В.2.6-31:2021 - нормальний, а також враховуючи, що конструкція зовнішня, то умови експлуатації згідно з т.Б.3 ДБН В.2.6-31:2021 - Б.

1.1.3 Розрахункові характеристики матеріалів конструкції визначаємо згідно з додатком А ДСТУ 9191:2022.

Таблиця №1. Розрахункові характеристики матеріалів шарів конструкції

№	Назва шару	Товщина, (м)	Теплопровідність λ , Вт/(м²·К)
1	Спінений пінополістирол $\rho=15$ кг/м³	0.05	0.055
2	Спінений пінополістирол $\rho=15$ кг/м³	0.05	0.055

1.1.4 Коефіцієнти тепловіддачі визначаємо згідно з таблицею Б додатку Б ДСТУ 9191:2022. Для конструкції типу - стіна, розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожжувальних конструкцій прийнято:

$$h_{si} = 8.7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad h_{se} = 23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (1)$$

1.1.5 Визначаємо опір теплопередачі конструкції згідно з формулою 2 ДСТУ 9191:2022:

$$R_s = \frac{1}{h_{si}} + \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{1}{h_{se}} = \frac{1}{8.7} + \frac{0.05}{0.055} + \frac{0.05}{0.055} + \frac{1}{23} = 1.977 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad (2)$$

де h_{si} , h_{se} , див. п. 1; d_1 , d_2 - товщина шару огорожжувальної конструкції, див. п. 1, 1; λ_{p1} , λ_{p2} - розрахункова теплопровідність матеріалу шару, див. п. 1, 1.

1.1.6 Загальна площа огорожжувальної конструкції, обчислена за внутрішнім виміром із додаванням площ внутрішніх укосів прорізів та відніманням площ прорізів та площа термічно однорідної частини непрозорої конструкції, що не містить площі внутрішніх укосів прорізів дорівнюють відповідно:

$$A_{\Sigma} = 1 \text{ м}^2 \quad A_1 = 1 \text{ м}^2 \quad (3)$$

1.1.7 Визначаємо довжину лінійного термічного включення для автоматично сформованого вузла "Стіна з термовключеннями":

$$b_{auto1} = 0.8 \text{ м} \quad (4)$$

$$l_1 = \frac{A_{\Sigma}}{b_{auto1}} = \frac{1}{0.8} = 1.25 \text{ м} \quad (5)$$

						Арк.
						2
Зм.	Кільк.	Арк.	№Док.	Підпис	Дата	

де A_{Σ} - загальна площа огорожувальної конструкції, див. п. 1; $b_{\text{auto } 1}$ - ширина автоматично сформованого термічного включення, див. п. 1.

1.1.8 На фрагменті, що розглядається, присутні теплопровідні включення, що відносяться до непрозорі огорожувальної конструкції.

Таблиця №2. Теплопровідні включення та їх кількісне вираження

№	Найменування теплопровідного включення	Протяжність, м	Кількість, шт	Лінійний коефіцієнт теплопередачі Ψ , Вт/(м*К)	Точковий коефіцієнт теплопередачі χ , Вт/К
0	Стіна з термовключеннями	1.25	-	-0.004357	-

Лінійні та точкових коефіцієнти теплопередачі теплопровідних включень наведені в таблиці 2

1.1.9 Визначаємо приведений опір теплопередачі конструкції згідно з формулою 1 ДСТУ 9191:2022:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{A_{\Sigma}}{\left(\frac{A_1}{R_s} + l_1 \Psi_1\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{1.977} + 1.25 \cdot -0.004357\right)} = 1.998 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad (6)$$

де A_{Σ} - те саме, що у формулі (5); A_1 - площа термічно однорідної частини конструкції, див. п. 1; R_s - загальний опір теплопередачі конструкції, див. п. 1.1.5; l_1 , див. п. 1.1.7; Ψ_1 - лінійний коефіцієнт теплопередачі термічного включення, див. п. 1.

1.1.10 Визначимо мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі згідно з ДБН В.2.6-31:2021. Температурна зона згідно з додатком А ДБН В.2.6-31:2021 - І (м. Львів). Допустиме значення опору теплопередачі визначаємо з таблиці 1 ДБН В.2.6-31:2021 (як для типу конструкції - стіна, та типу будівлі - многоквартирний будинок):

$$R_{q \text{min}} = 4 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

1.1.11 Оскільки:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = 2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} < R_{q \text{min}} = 4 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

то умова (4) ДБН В.2.6-31:2021 не виконується.

1.1.12 Визначення розподілу температури в товщині конструкції згідно з формулою (5) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} = \frac{0.05}{0.055} = 0.909 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad (7)$$

де d_1 , λ_{p1} - те саме, що у формулі (2).

$$R_2 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} = \frac{0.05}{0.055} + \frac{0.05}{0.055} = 1.818 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad (8)$$

де d_1 , d_2 , λ_{p1} , λ_{p2} - те саме, що у формулі (2).

$$\theta_{\text{ext}} = -22^\circ\text{C};$$

1.1.13 Температура в площинах на межі шарів :

$$\theta_0 = \theta_{\text{int}} - \frac{(\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{ext}})}{R_s} \frac{1}{h_{\text{si}}} = 20 - \frac{(20 - -22)}{1.977} \cdot \frac{1}{8.7} = 17.558^\circ\text{C} \quad (9)$$

де θ_{int} - температура внутрішнього повітря, див. п. 1; θ_{ext} - температура зовнішнього повітря, див. п. 1; R_s - те саме, що у формулі (6); h_{si} - те саме, що у формулі (2).

$$\theta_1 = \theta_{\text{int}} - \frac{(\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{ext}})}{R_s} \left(\frac{1}{h_{\text{si}}} + R_1\right) = 20 - \frac{(20 - -22)}{1.977} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.909\right) = -1.759^\circ\text{C} \quad (10)$$

де θ_{int} , θ_{ext} - те саме, що у формулі (9); R_s - те саме, що у формулі (6); h_{si} - те саме, що у формулі (2); R_1 , див. п. 1.1.12.

$$\theta_2 = \theta_{\text{int}} - \frac{(\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{ext}})}{R_s} \left(\frac{1}{h_{\text{si}}} + R_2\right) = 20 - \frac{(20 - -22)}{1.977} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 1.818\right) = -21.076^\circ\text{C} \quad (11)$$

де θ_{int} , θ_{ext} - те саме, що у формулі (9); R_s - те саме, що у формулі (6); h_{si} - те саме, що у формулі (2); R_2 , див. п. 1.1.12.

Температурний перепад між температурою внутрішнього повітря та приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції:

$$\Delta\theta_{\text{int si}} = \theta_{\text{int}} - \theta_0 = 20 - 17.558 = 2.442^\circ\text{C} \quad (12)$$

де θ_{int} - те саме, що у формулі (9); θ_0 - температура на внутрішній поверхні конструкції, див. п. 1.1.13.

1.1.14 Температуру точки роси визначаємо за умов, коли температура повітря θ_{int} дорівнює 20°C , а відносна вологість становить 55%.

$$\theta_D = \frac{237.7 \cdot \left(\frac{17.27 \cdot \theta_{\text{int}}}{(237.7 + \theta_{\text{int}})} + \ln \frac{\varphi_{\text{int}}}{100}\right)}{\left(17.27 - \left(\frac{\theta_{\text{int}}}{(237.7 + \theta_{\text{int}})} + \ln \frac{\varphi_{\text{int}}}{100}\right)\right)} = 9.92^\circ\text{C}$$

						Арк.
						3
Зм.	Кільк.	Арк.	№Док.	Підпис	Дата	

1.1.15 Визначення допустимого значення різниці між температурою внутрішнього повітря та приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції визначаємо згідно з п. 5.4 ДБН В.2.6-31:2021:

$$\Delta\theta_{int si max} = 4^{\circ}\text{C} \quad (13)$$

1.1.16 Оскільки:

$$\Delta\theta_{int si} = 2.44^{\circ}\text{C} < \Delta\theta_{int si max} = 4^{\circ}\text{C}$$

то умова (5) ДБН В.2.6-31:2021 виконується.

1.1.17 Мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні непрозорих огорожувальних конструкцій у зонах теплопровідних включень, $\theta_{si, min}$, у кутах і укосах віконних і дверних прорізів, прийнятому залежно від температурної зони експлуатації будівлі згідно з додатком А ДБН В.2.6-31:2021, повинно бути не менше ніж температура точки роси. Перевірка виконання вимог п. 5.5.1 ДБН В.2.6-31:2021

Оскільки:

$$\theta_0 = 17.56^{\circ}\text{C} > \theta_D = 9.92^{\circ}\text{C}$$

то умова п. 5.5.1 ДБН В.2.6-31:2021 виконується.

1.2 Оцінка тепловологісного стану конструкції. стіна №1.

Оцінку тепловологісного стану конструкції виконуємо згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.6-192:2013.

1.2.1 Розподіл температур по товщині конструкції виконуємо згідно з ф. (5) ДСТУ Б В.2.6-192:2013. Розрахункові значення температури та відносної вологості внутрішнього повітря визначаємо згідно з додатком Б ДБН В.2.6-31:2021

$$\theta_{int} = 20^{\circ}\text{C}; \varphi_{int} = 55\%$$

1.2.2 Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря в січні для міста Львів (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

Таблиця №3. Середньомісячні значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря для м. Львів

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура, °C	-4	-2.7	1.4	7.9	13.4	16.3	17.7	17.2	13	8	2.5	-2.2
Відносна вологість, %	84	83	78	72	72	74	75	76	79	81	85	86

1.2.3 Опір теплопередачі R_s огорожуючої конструкції визначено згідно з формулою (2). Коефіцієнти тепловіддачі визначено згідно з формулою (1)

1.2.4 Визначимо опір теплопередачі в площинах на межі шарів:

$$x_1 = 0.05\text{м}; \lambda_{p1} = 0.05 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} = \frac{0.05}{0.055} = 0.909 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad (14)$$

де d_1, λ_{p1} - те саме, що у формулі (2).

$$x_2 = 0.1\text{м}; \lambda_{p2} = 0.05 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$R_2 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} = \frac{0.05}{0.055} + \frac{0.05}{0.055} = 1.818 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad (15)$$

де $d_1..d_2, \lambda_{p1}.. \lambda_{p2}$ - те саме, що у формулі (2).

1.2.5 Визначимо опори паропроникненню кожного шару і конструкції в цілому згідно з формулами (3), (4) ДСТУ Б В.2.6-192:2013. Коефіцієнт паропроникності беремо згідно з табл. А.1 ДСТУ 9191:2022

$$\text{При } x_1 = 0.05 \text{ м}$$

$$R_{e1} = \frac{d_1}{\delta_1} = \frac{0.05}{0.05} = 1 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{мг}} \quad (16)$$

де d_1 - те саме, що у формулі (2); δ_1 - товщина шару огорожувальної конструкції, див. п. 1.

$$\text{При } x_2 = 0.1 \text{ м}$$

$$R_{e2} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} = \frac{0.05}{0.05} + \frac{0.05}{0.05} = 2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{мг}} \quad (17)$$

де $d_1..d_2$ - те саме, що у формулі (2); δ_1 - те саме, що у формулі (16); δ_2 - товщина шару огорожувальної конструкції, див. п. 1.

Таблиця №4. Характеристики матеріалів шарів конструкції

№	Назва шару	Товщина, (м)	Теплопровідність λ , Вт/(м*К)	Тепловий опір R (м²К)/Вт	Коеф. паропроникності δ мг/(м²*год*Па)	Опір паропроникненню R_e м²*год*Па/мг
1	Спінений пінополістирол $\rho=15 \text{ кг/м}^3$	0.05	0.055	0.909	0.05	1

						Арк.
						4
Зм.	Кільк.	Арк.	№Док.	Підпис	Дата	

№	Назва шару	Товщина, (м)	Теплопровідність λ , Вт/(м*К)	Тепловий опір R (м²К)/Вт	Коеф. паропроникності δ мг/(м²год*Па)	Опір паропроникненню Re м²*год*Па/мг
2	Спінений пінополістирол $\rho=15$ кг/м³	0.05	0.055	1.818	0.05	2

1.2.6 Опір паропроникненню конструкції в цілому:

$$R_{es} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} = \frac{0.05}{0.05} + \frac{0.05}{0.05} = 2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{мг}} \quad (18)$$

де d_1, d_2 - те саме, що у формулі (2); δ_1 - те саме, що у формулі (16); δ_2 - те саме, що у формулі (17).

1.2.7 Розрахунок вологонакопичення в місяці січень:

1.2.7.1 Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря для міста Львів (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

$$\varphi_{ext} = 84\% \quad \tau = 744 \text{ год} \\ \theta_{ext} = -4^\circ\text{C};$$

1.2.7.2 Температура в площинах на межі шарів :

$$\theta_0 = \theta_{int} - \frac{(\theta_{int} - \theta_{ext})}{R_s} \frac{1}{h_{si}} = 20 - \frac{(20 - (-4))}{1.977} \cdot \frac{1}{8.7} = 18.604^\circ\text{C} \quad (19)$$

де $\theta_{int}, \theta_{ext}$ - те саме, що у формулі (9); R_s - те саме, що у формулі (6); h_{si} - те саме, що у формулі (2).

$$\theta_1 = \theta_{int} - \frac{(\theta_{int} - \theta_{ext})}{R_s} \left(\frac{1}{h_{si}} + R_1 \right) = 20 - \frac{(20 - (-4))}{1.977} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.909 \right) = 7.566^\circ\text{C} \quad (20)$$

де $\theta_{int}, \theta_{ext}$ - те саме, що у формулі (9); R_s - те саме, що у формулі (6); h_{si} - те саме, що у формулі (2); R_1 - те саме, що у формулі (10).

$$\theta_2 = \theta_{int} - \frac{(\theta_{int} - \theta_{ext})}{R_s} \left(\frac{1}{h_{si}} + R_2 \right) = 20 - \frac{(20 - (-4))}{1.977} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 1.818 \right) = -3.472^\circ\text{C} \quad (21)$$

де $\theta_{int}, \theta_{ext}$ - те саме, що у формулі (9); R_s - те саме, що у формулі (6); h_{si} - те саме, що у формулі (2); R_2 - те саме, що у формулі (11).

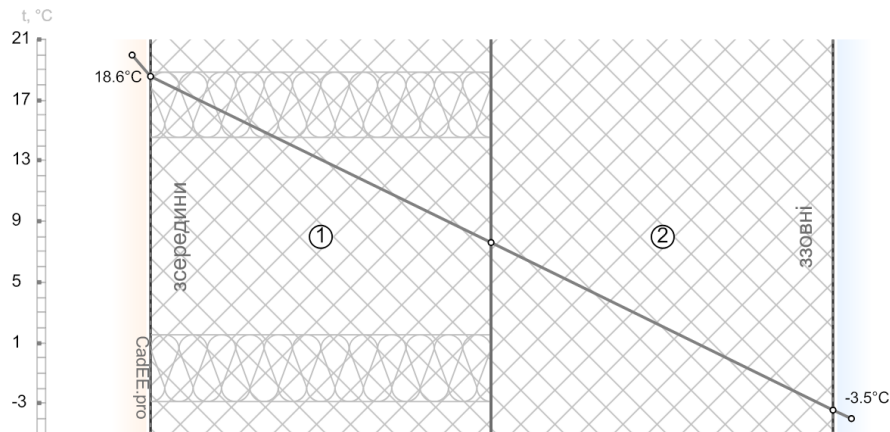


Рисунок 2. Розподіл температур у товщині огорожувачої конструкції (січень).

Графік розподілу температур див. рис. 2

1.2.7.3 Визначимо парціальний тиск насиченої водяної пари згідно з таблицею Б.1 ДСТУ Б В.2.6-192:2013

Розрахункові умови для визначення тиску насиченої водяної пари:

Відповідно до п. Б.1.2.1 та Б.1.2.2 ДСТУ Б В.2.6-192:2013 приймаємо:

- для внутрішнього повітря: $\theta_{int} = 20^\circ\text{C}$, $\varphi_{int} = 55\%$.

- для зовнішнього повітря (січень): $\theta_{ext} = -4^\circ\text{C}$, $\varphi_{ext} = 84\%$.

Згідно з п. Б.1.2.3 та таблицею Б.1 за температурою відповідного повітря визначаємо E_B та E_3 — парціальні тиски насиченої водяної пари; відносну вологість використовуємо далі для визначення фактичних тисків e за формулами (6) та (7):

$$E_B = 2340 \text{ Па}$$

$$E_3 = 437 \text{ Па}$$

1.2.7.4 Визначимо парціальний тиск водяної пари згідно з формулами (6) та (7) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$e_B = 0.01 \varphi_{int} E_B = 55 \cdot 2340 \cdot 0.01 = 1287 \text{ Па} \quad (22)$$

						Арк.
						5
Зм.	Кільк.	Арк.	№Док.	Підпис	Дата	

де φ_{int} - відносна вологість внутрішнього повітря, див. п. 1; $E_{\text{в}}$ - тиск насиченої водяної пари з внутрішнього боку конструкції, див. п. 1.

$$e_3 = 0.01 \varphi_{\text{ext}} E_3 = 84 \cdot 437 \cdot 0.01 = 367.08 \text{ Па} \quad (23)$$

де φ_{ext} - відносна вологість зовнішнього повітря, див. п. 1; E_3 - тиск насиченої водяної пари із зовнішнього боку конструкції, див. п. 1.

1.2.7.5 Визначимо парціальний тиск насиченої водяної пари в товщині конструкції з розрахунку 11 точок на 1°C перепаду температур (п. 4.2.4.7 ДСТУ Б В.2.6-192:2013).

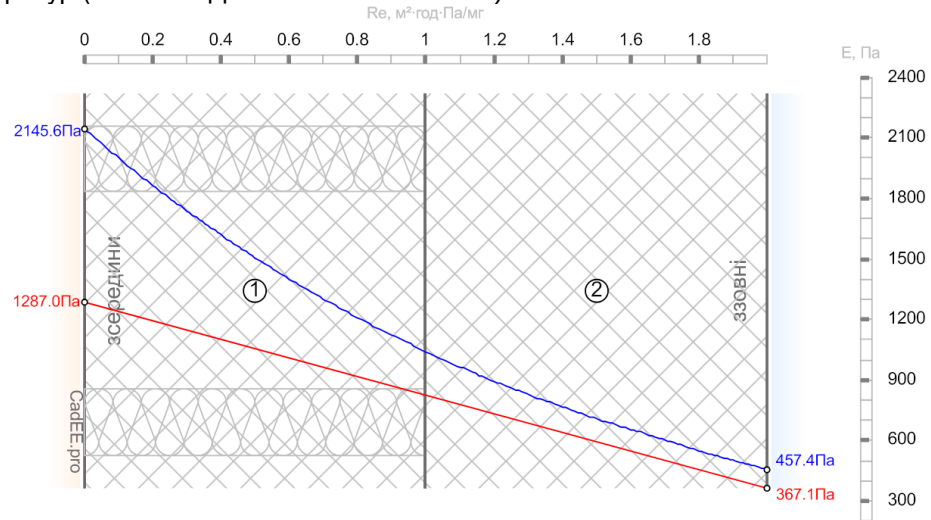


Рисунок 3. Розподіл парціальних тисків у товщині огорожувальної конструкції (січень). На графіку лінія сіра - розподіл температури (t), синя - графік розподілу парціального тиску насиченої водою пари (E), червона - допоміжна лінія для оцінки наявності конденсації пари (e), зелена - допоміжна лінія для оцінки кількості вологи що надходить/випаровується з конструкції.

Оскільки лінії E та e не перетинаються то згідно з п.4.2.5 та п.4.3.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013, конденсація водяної пари в товщині конструкції не відбувається.

Оскільки конденсації у січні не відбувається то згідно з п.4.2.5 та п.4.3.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013, то умови (1) та (2) ДСТУ Б В.2.6-192:2013 вважаємо виконаними.

1.3 Розрахунок масової повітрепроникності огорожувальної конструкції. стіна №1.

Розрахунок масової повітрепроникності виконуємо згідно з вимогами ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013.

1.3.1 Вихідні дані

$$H = 10 \text{ м} \quad h_i = 3 \text{ м} \quad (24)$$

1.3.2 Визначаємо питому вагу зовнішнього повітря γ_3 згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 5.1, формула (4).

$$\gamma_3 = \frac{3463}{(273 + t_3)} = \frac{3463}{(273 + -22)} = 13.797 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3} \quad (25)$$

де t_3 - температура зовнішнього повітря, див. п. 1.

1.3.3 Визначаємо питому вагу внутрішнього повітря $\gamma_{\text{в}}$ згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 5.1, формула (5).

$$\gamma_{\text{в}} = \frac{3463}{(273 + t_{\text{в}})} = \frac{3463}{(273 + 20)} = 11.819 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3} \quad (26)$$

де $t_{\text{в}}$ - температура внутрішнього повітря, див. п. 1.

1.3.4 Коефіцієнт $\beta_{\text{в}}$ приймаємо згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 5.1, таблиця 2, як для місцевості типу Б при висоті будівлі $H=10.00$ м. Тип місцевості Б прийнято для міських територій, лісових масивів та інших місцевостей, рівномірно вкритих перешкодами заввишки понад 10 м.

$$\beta_{\text{в}} = 0.65 \quad (27)$$

1.3.5 Максимальну із середніх швидкостей вітру v приймаємо згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 5.1, до формули (3), за даними таблиці 6 ДСТУ-Н Б В.1.1-27. Для м. Львів повторюваність 16 % і більше мають напрями: захід, північний захід. Найбільша середня швидкість серед цих напрямів відповідає напрямку/напрямам захід, північний захід і становить 4.20 м/с.

$$v = 4.2 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (28)$$

1.3.6 Розрахункову різницю тисків повітря на зовнішній та внутрішній поверхнях огорожувальної конструкції визначаємо згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 5.1, формула (3).

						Арк.
						6
Зм.	Кільк.	Арк.	№Док.	Підпис	Дата	

$$\begin{aligned}\Delta p &= (H - h_i)(\gamma_3 - \gamma_v) + 0.03\gamma_3 v^2 \beta_v \\ &= (10 - 3) \cdot (13.797 - 11.819) + 0.03 \cdot 13.797 \cdot 4.2^2 \cdot 0.65 \\ &= 18.59 \text{ Па}\end{aligned}\quad (29)$$

де H - висота будівлі для розрахунку повітропроникності, див. п. 1; h_i - висота верхньої межі елемента огорожувальної конструкції, див. п. 1; γ_3 - питома вага зовнішнього повітря, див. п. 1.3.2; γ_v - питома вага внутрішнього повітря, див. п. 1.3.3; v , див. п. 1; β_v - коефіцієнт вітрового тиску для огорожувальної конструкції, див. п. 1.

1.3.7 Конструкція містить термічні включення, тому визначаємо унікальні варіанти конструкції перпендикулярними перерізами та обчислюємо загальну повітропроникність за ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 5.3.

$$W = 0.8\text{м} \quad (30)$$

$$F = 1\text{м}^2 \quad (31)$$

Таблиця №5. Унікальні варіанти конструкції для розрахунку повітропроникності

№	Ширина b_i , м	Частка b_i/W	Площа F_i , м ²	Склад варіанта
1	0.2	0.25	0.25	Мінеральна вата (базальтове волокно) $\rho=30$ кг/м ³ , 0.05 м (включення); Спінений пінополістирол $\rho=15$ кг/м ³ , 0.05 м
2	0.6	0.75	0.75	Спінений пінополістирол $\rho=15$ кг/м ³ , 0.05 м; Спінений пінополістирол $\rho=15$ кг/м ³ , 0.05 м

1.3.7.1 Визначимо характеристики кожного шару конструкції

1.3.7.1.1 Для варіанта 1, шар 1 "Мінеральна вата (базальтове волокно) $\rho=30$ кг/м³" значення базової різниці тисків $\Delta p_{0_1_1}$, повітропроникності при базовій різниці тисків $G_{1_1_1}\Delta p_0$ та показника степеня n_{1_1} приймаємо згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 5.1, таблиця 3, як для матеріалу "Плити мінераловатні, $\gamma = 80$ кг/м³" при товщині шару 0.05 м.

$$\Delta p_{0_{11}} = 10\text{Па} \quad G_{1_{1\Delta p_0}} = 22.4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \quad n_{11} = 1.5 \quad (32)$$

1.3.7.1.2 Повітропроникність варіанта 1, шар 1 перераховуємо до розрахункової різниці тисків Δp згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 5.1, формула (2).

$$G_{1_{1\Delta p}} = G_{1_{1\Delta p_0}} \frac{\Delta p^{n_{11}}}{\Delta p_{0_{11}}^{n_{11}}} = 22.4 \cdot \frac{18.59^{1.5}}{10} = 56.775 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \quad (33)$$

де $G_{1_{1\Delta p_0}}$, $\Delta p_{0_{11}}$, n_{11} , див. п. 1; Δp - розрахункова різниця тисків на поверхнях огорожувальної конструкції, див. п. 1.3.6.

1.3.7.1.3 Для варіанта 1, шар 2 "Спінений пінополістирол $\rho=15$ кг/м³" значення базової різниці тисків $\Delta p_{0_1_2}$, повітропроникності при базовій різниці тисків $G_{1_2_1}\Delta p_0$ та показника степеня n_{1_2} приймаємо згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 5.1, таблиця 3, як для матеріалу "Пінополістирол (ПСБ)" при товщині шару 0.05 м.

$$\Delta p_{0_{12}} = 10\text{Па} \quad G_{1_{2\Delta p_0}} = 0.127 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \quad n_{12} = 0.65 \quad (34)$$

1.3.7.1.4 Повітропроникність варіанта 1, шар 2 перераховуємо до розрахункової різниці тисків Δp згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 5.1, формула (2).

$$G_{1_{2\Delta p}} = G_{1_{2\Delta p_0}} \frac{\Delta p^{n_{12}}}{\Delta p_{0_{12}}^{n_{12}}} = 0.127 \cdot \frac{18.59^{0.65}}{10} = 0.19 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \quad (35)$$

де $G_{1_{2\Delta p_0}}$, $\Delta p_{0_{12}}$, n_{12} , див. п. 1; Δp - те саме, що у формулі (33).

1.3.7.2 Оскільки конструкція має два або більше увімкнених у розрахунку шарів, її розглядаємо як багатошарову огорожувальну конструкцію з послідовним розміщенням шарів згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 4, рисунок 1Б. Повітропроникність такої конструкції визначаємо згідно з п. 5.2, формула (6).

$$G_{k1} = \left(\frac{1}{G_{1_{1\Delta p}}} + \frac{1}{G_{1_{2\Delta p}}} \right)^{(-1)} = \left(\frac{1}{56.775} + \frac{1}{0.19} \right)^{(-1)} = 0.1894 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \quad (36)$$

де $G_{1_{1\Delta p}}$, див. п. 1.3.7.1.2; $G_{1_{2\Delta p}}$, див. п. 1.3.7.1.4.

1.3.7.3 Площу F_1 унікального варіанта 1 визначаємо пропорційно до його ширини b_1 у межах розрахункової смуги W .

$$F_1 = \frac{F b_1}{W} = \frac{1 \cdot 0.2}{0.8} = 0.25 \text{ м}^2 \quad (37)$$

де F , b_1 , W , див. п. 1.

1.3.7.4 Визначимо характеристики кожного шару конструкції

1.3.7.4.1 Для варіанта 2, шар 1 "Спінений пінополістирол $\rho=15$ кг/м³" значення базової різниці тисків $\Delta p_{0_2_1}$, повітропроникності при базовій різниці тисків $G_{2_1_1}\Delta p_0$ та показника степеня n_{2_1} приймаємо

						Арк.
						7
Зм.	Кільк.	Арк.	№Док.	Підпис	Дата	

згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 5.1, таблиця 3, як для матеріалу "Пінополістирол (ПСБ)" при товщині шару 0.05 м.

$$\Delta p_{0_{21}} = 10 \text{Па} \cdot G_{21_{\Delta p_0}} = 0.127 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \cdot n_{21} = 0.65 \quad (38)$$

1.3.7.4.2 Повітропроникність варіанта 2, шар 1 перераховуємо до розрахункової різниці тисків Δp згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 5.1, формула (2).

$$G_{21_{\Delta p}} = G_{21_{\Delta p_0}} \frac{\Delta p^{n_{21}}}{\Delta p_{0_{21}}} = 0.127 \cdot \frac{18.59^{0.65}}{10} = 0.19 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \quad (39)$$

де $G_{21_{\Delta p_0}}$, $\Delta p_{0_{21}}$, n_{21} , див. п. 1; Δp - те саме, що у формулі (33).

1.3.7.4.3 Для варіанта 2, шар 2 "Спінений пінополістирол $\rho=15 \text{ кг/м}^3$ " значення базової різниці тисків $\Delta p_{0_{22}}$, повітропроникності при базовій різниці тисків $G_{22_{\Delta p_0}}$ та показника степеня n_{22} приймаємо згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 5.1, таблиця 3, як для матеріалу "Пінополістирол (ПСБ)" при товщині шару 0.05 м.

$$\Delta p_{0_{22}} = 10 \text{Па} \cdot G_{22_{\Delta p_0}} = 0.127 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \cdot n_{22} = 0.65 \quad (40)$$

1.3.7.4.4 Повітропроникність варіанта 2, шар 2 перераховуємо до розрахункової різниці тисків Δp згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 5.1, формула (2).

$$G_{22_{\Delta p}} = G_{22_{\Delta p_0}} \frac{\Delta p^{n_{22}}}{\Delta p_{0_{22}}} = 0.127 \cdot \frac{18.59^{0.65}}{10} = 0.19 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \quad (41)$$

де $G_{22_{\Delta p_0}}$, $\Delta p_{0_{22}}$, n_{22} , див. п. 1; Δp - те саме, що у формулі (33).

1.3.7.5 Оскільки конструкція має два або більше увімкнених у розрахунок шарів, її розглядаємо як багат шарову огорожувальну конструкцію з послідовним розміщенням шарів згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 4, рисунок 1Б. Повітропроникність такої конструкції визначаємо згідно з п. 5.2, формула (6).

$$G_{k2} = \left(\frac{1}{G_{21_{\Delta p}}} + \frac{1}{G_{22_{\Delta p}}} \right)^{(-1)} = \left(\frac{1}{0.19} + \frac{1}{0.19} \right)^{(-1)} = 0.095 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \quad (42)$$

де $G_{21_{\Delta p}}$, див. п. 1.3.7.4.2; $G_{22_{\Delta p}}$, див. п. 1.3.7.4.4.

1.3.7.6 Площу F_2 унікального варіанта 2 визначаємо пропорційно до його ширини b_2 у межах розрахункової смуги W .

$$F_2 = \frac{F b_2}{W} = \frac{1 \cdot 0.6}{0.8} = 0.75 \text{ м}^2 \quad (43)$$

де F , W - те саме, що у формулі (37); b_2 , див. п. 1.

1.3.8 Загальну повітропроникність конструкції визначаємо як суму повітропроникностей унікальних варіантів, зважених за часткою їх площі згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 5.3.

$$G_k = \frac{(G_{k1} F_1 + G_{k2} F_2)}{(F_1 + F_2)} = \frac{(0.1894 \cdot 0.25 + 0.095 \cdot 0.75)}{(0.25 + 0.75)} = 0.1186 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \quad (44)$$

де G_{k1} , G_{k2} - повітропроникність унікального варіанта конструкції, див. п. 1.3.7.2, 1.3.7.5; F_1 , див. п. 1.3.7.3; F_2 , див. п. 1.3.7.6.

1.3.9 Допустиму повітропроникність G_n приймаємо згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 4, таблиця 1, як для непрозорої огорожувальної конструкції та будівлі типу - одноквартирний будинок.

$$G_n = 0.4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \quad (45)$$

1.3.10 Перевірку повітропроникності огорожувальної конструкції виконуємо згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 4, формула (1).

$$G_k = 0.12 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} < G_n = 0.4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$$

1.3.11 Умова повітропроникності огорожувальної конструкції згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013, п. 4, формула (1) - виконується.

1.4 Оцінка теплостійкості в літній період. стіна №1.

Оцінку теплостійкості в літній період виконуємо згідно з вимогами ДСТУ-Н Б В.2.6-190:2013.

1.4.1 Вихідні дані

Параметри клімату району будівництва наведені в таблиці:

Таблиця №6. Розрахункові параметри клімату м. Львів

Назва параметра		Значення
Середня температура липня, °С (табл. 2 ДСТУ -Н Б В.1.1-27:2010)		17.70
Середня амплітуда добових коливань температури зовнішнього повітря в липні Δt_z , °С (табл. 2 ДСТУ -Н Б В.1.1-27:2010)		10.20
Максимальне значення сумарної сонячної радіації, що надходить на вертикальну поверхню західної орієнтації в липні I_{max} , Вт/м ² (табл. 17 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010)		658
Середнє значення сумарної сонячної радіації, що надходить на вертикальну поверхню в липні $I_{\text{сер}}$, Вт/м ²		162

						Арк.
						8
Зм.	Кільк.	Арк.	№Док.	Підпис	Дата	

Назва параметра	Значення
(табл. 17 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010)	
Мінімальна з середніх швидкостей вітру по румбах за липень, повторюваність яких становить 16% і більше u, м/с(табл. 6 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010)	4.20

Параметри мікроклімату приміщення наведені в таблиці:

Таблиця №7. Розрахункові параметри мікроклімату в приміщенні (Львів)

Назва параметра	Значення
Температура внутрішнього повітря t _{вн} , °С (згідно з таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021)	20.00
Вологість внутрішнього повітря ф _{вн} , % (згідно з таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021)	55.00
Вологісний режим приміщення	нормальний

При розрахунках враховується основні шари конструкції, їхні теплофізичні характеристики приймаються згідно з Додатком А ДСТУ 9191:2022 Теплофізичні характеристики матеріалів шарів конструкції наведені в таблиці:

Таблиця №8. Характеристики матеріалів шарів конструкції

№	Назва шару	Товщина, (м)	Густина ρ, кг/м³	Теплопровідність λ, Вт/(м²К). Умови експл. А	Коефіцієнт теплотасвоєння s, Вт/(м²К). Умови експл. А
1	Спінений пінополістирол ρ=15 кг/м³	0.05	15	0.045	0.28
2	Спінений пінополістирол ρ=15 кг/м³	0.05	15	0.045	0.28

1.4.2 Визначення теплових характеристик шарів непрозорої огорожувальної конструкції

Теплові опори теплопередачі шарів непрозорої огорожувальної конструкції розраховуємо з використанням значень λ для умов експлуатації А згідно з формулою (7) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013

1.4.3 Визначення теплових характеристик шарів непрозорої огорожувальної конструкції

Теплові опори теплопередачі шарів непрозорої огорожувальної конструкції розраховуємо згідно з формулою (7) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013

Тепловий опір конструкції, що складається з декількох матеріалів визначаємо згідно з п. 4.11 ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013

$$\lambda_1 = \frac{(\lambda_{I1} V_{I1} + \lambda_{II1} V_{II1})}{(V_{I1} + V_{II1})} = \frac{(0.045 \cdot 0.06 + 0.046 \cdot 0.02)}{(0.06 + 0.02)} = 0.04525 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \quad (46)$$

де λ_{I1} - теплопровідність основного матеріалу шару, див. п. 1; V_{I1} - об'єм основного матеріалу шару, див. п. 1; λ_{II1} - теплопровідність додаткового матеріалу шару, див. п. 1; V_{II1} - об'єм додаткового матеріалу шару, див. п. 1.

$$s_1 = \frac{(s_{I1} V_{I1} + s_{II1} V_{II1})}{(V_{I1} + V_{II1})} = \frac{(0.28 \cdot 0.06 + 0.29 \cdot 0.02)}{(0.06 + 0.02)} = 0.2825 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \quad (47)$$

де s_{I1} - коефіцієнт теплотасвоєння основного матеріалу шару, див. п. 1; V_{I1}, V_{II1} - те саме, що у формулі (46); s_{II1} - коефіцієнт теплотасвоєння додаткового матеріалу шару, див. п. 1.

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0.05}{0.04525} = 1.105 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad (48)$$

де d₁ - те саме, що у формулі (2); λ₁, див. п. 1.4.3.

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0.05}{0.045} = 1.111 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad (49)$$

де d₂ - те саме, що у формулі (2); λ₂, див. п. 1.

1.4.4 Визначення теплових інерцій кожного шару непрозорої огорожувальної конструкції

Теплові інерції шарів непрозорої огорожувальної конструкції розраховуємо згідно з формулами (5) та (6) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$$D_1 = R_1 s_1 = 1.105 \cdot 0.2825 = 0.3122 \quad (50)$$

де R₁ - те саме, що у формулі (10); s₁, див. п. 1.4.3.

$$D_2 = R_2 s_2 = 1.111 \cdot 0.28 = 0.3111 \quad (51)$$

де R₂ - те саме, що у формулі (11); s₂, див. п. 1.

$$D = D_1 + D_2 = 0.3122 + 0.3111 = 0.623 \quad (52)$$

де D₁, D₂ - теплова інерція шару конструкції, див. п. 1.4.4, 1.4.4.

1.4.5 Визначення розрахункової амплітуди коливань зовнішнього повітря згідно з п. 4.3 ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013

						Арк.
						9
Зм.	Кільк.	Арк.	№Док.	Підпис	Дата	

Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції в літній період визначаємо згідно з п. 4.4 ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$$\alpha_{3л} = 1.16(5 + 10v^{0.5}) = 1.16 \cdot (5 + 10 \cdot 4.2^{0.5}) = 29.573 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (53)$$

де v - швидкість вітру в літній період, див. п. 1.

Коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції прийнято $\chi=0.52$, як для алюміній матовий, згідно з табл. Б.1 ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013.

Розрахункова амплітуда коливань температури зовнішнього повітря в липні визначаємо згідно з ф. (2) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$$A_{t_{\text{эроз}}} = A_{t_3} + \frac{\chi(I_{\text{max}} - I_{\text{сер}})}{\alpha_{3л}} = 10.2 + \frac{0.52 \cdot (658 - 162)}{29.573} = 18.921 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (54)$$

де A_{t_3} - амплітуда коливань температури зовнішнього повітря, див. п. 1; χ - коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом, див. п. 1; I_{max} - максимальна сумарна сонячна радіація, див. п. 1; $I_{\text{сер}}$ - середня сумарна сонячна радіація, див. п. 1; $\alpha_{3л}$ - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні в літній період, див. п. 1.4.5.

1.4.6 Визначення показника теплосвоєння згідно з п. 4.13 ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$$Y_1 = \frac{(R_1 s_1^2 + h_{si})}{(1 + R_1 h_{si})} = \frac{(1.105 \cdot 0.2825^2 + 8.7)}{(1 + 1.105 \cdot 8.7)} = 0.828 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \quad (55)$$

де R_1 - те саме, що у формулі (10); s_1 - те саме, що у формулі (50); h_{si} - те саме, що у формулі (2).

$$Y_2 = \frac{(R_2 s_2^2 + Y_1)}{(1 + R_2 Y_1)} = \frac{(1.111 \cdot 0.28^2 + 0.828)}{(1 + 1.111 \cdot 0.828)} = 0.4766 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \quad (56)$$

де R_2 - те саме, що у формулі (11); s_2 - те саме, що у формулі (51); Y_1 - показник теплосвоєння поверхнею шару конструкції, див. п. 1.4.6.

1.4.7 Визначення величини затухання розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря в огорожувальній конструкції.

Величина затухання розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря в огорожувальній конструкції визначається згідно з ф. (3) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$$\begin{aligned} v &= 0.9 e^{\frac{D}{2 \cdot 0.5}} \frac{(s_1 + h_{si})(s_2 + Y_1)(\alpha_{3л} + Y_2)}{(s_1 + Y_1)(s_2 + Y_2)\alpha_{3л}} \\ &= 0.9 \cdot 2.71828^{\frac{0.623}{2 \cdot 0.5}} \cdot \frac{(0.2825 + 8.7) \cdot (0.28 + 0.828) \cdot (29.573 + 0.4766)}{(0.2825 + 0.828)(0.28 + 0.4766) \cdot 29.573} = 16.831 \end{aligned} \quad (57)$$

де e , див. п. 1; D , див. п. 1.4.4; s_1 - те саме, що у формулі (50); h_{si} - те саме, що у формулі (2); Y_1 - те саме, що у формулі (56); s_2 - те саме, що у формулі (51); $\alpha_{3л}$ - те саме, що у формулі (54); Y_2 - показник теплосвоєння поверхнею шару конструкції, див. п. 1.4.6.

1.4.8 Визначення амплітуди коливань температури внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій
Амплітуда коливань температури внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій визначається згідно з ф. (1) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$$A_{\theta, si} = \frac{A_{t_{\text{эроз}}}}{v} = \frac{18.921}{16.831} = 1.124 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (58)$$

де $A_{t_{\text{эроз}}}$ - розрахункова амплітуда коливань температури зовнішнього повітря, див. п. 1.4.5; v , див. п. 1.4.7.

1.4.9 Оскільки:

$$A_{\theta, si} = 1.12^\circ\text{C} < 1.5^\circ\text{C}$$

то умова (7) ДБН В.2.6-31:2021 - виконується.

						Арк.
						10
Зм.	Кільк.	Арк.	№Док.	Підпис	Дата	

Додаток 1. стіна №1

1.5 Розрахунок лінійного коефіцієнта теплопередачі Ψ : Стіна з термовключеннями

1.5.1 Конструкція вузла

1.5.1.1 Вузол складається з 1 складових: Стіна.

1.5.2 Вихідні дані

1.5.2.1 Розмір сітки: 2×7 ($N_x \times N_y$). Мінімальна товщина шару: 0.0500 м. Загальна кількість вузлів: 24, кінцевих елементів: 14.

1.5.2.2 Вузол містить 1 складових. Кожна складова визначає елемент конструкції з відповідними шарами матеріалів. Граничні умови для кожного елементу див. таблицю:

Таблиця №9. Складові вузла

Назва конструкції	θ_{si} , °C	h_{si} , Вт/(м²·К)	θ_{se} , °C	h_{se} , Вт/(м²·К)	Шари, (шт)
стіна №1	20.0	8.7	-22.0	23.0	2

1.5.2.3 Складова «Стіна» містить 2 шарів. Для кожного шару вказано матеріал, товщину та коефіцієнт теплопровідності.

Таблиця №10. Шари складової Стіна

№	Матеріал	Товщина, м	λ , Вт/(м·К)	З'єднання	Активний
0	Спінений пінополістирол $\rho=15$ кг/м³	0.05	0.0550	1	Так
1	Спінений пінополістирол $\rho=15$ кг/м³	0.05	0.0550	2	Так

1.5.3 Розрахунок лінійного коефіцієнту термічного включення

1.5.3.1 На основі розрахункової схеми проведено розрахунок методом скінченних елементів (МСЕ) та отримано розподіл температур у вузлах розрахункової моделі. Розрахунок див. Додаток А.

1.5.3.2 Тепловий потік у кожному кінцевому елементі визначають за температурами у вузлах елемента шляхом обчислення середніх градієнтів температури за координатними напрямками та подальшого застосування закону Фур'є. Отримані складові густини теплового потоку перемножують на відповідний розмір грані елемента, унаслідок чого визначають лінійний тепловий потік через грань елемента. Загальний тепловий потік через вузол встановлюють сумуванням потоків через граничні елементи розрахункової моделі. Розрахунок див. Додаток А.

1.5.3.3 Загальний тепловий потік через вузол Φ визначають як суму теплових потоків Φ_i , отриманих для окремих граничних кінцевих елементів розрахункової моделі. Розрахунок див. Додаток А

$$\Phi_l = 16.816 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

1.5.3.4 Визначимо різницю температур

$$\theta_{int} = 20^\circ\text{C} \quad \theta_e = -22^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta = \theta_{int} - \theta_e = 20 - (-22) = 42^\circ\text{C} \quad (59)$$

де θ_{int} - те саме, що у формулі (9); θ_e , див. п. 1.

1.5.3.5 Визначимо коефіцієнт теплового зв'язку вузла L2D згідно з формулою (15) ISO 10211:2017

$$L_{s2D} = \frac{\Phi_l}{\Delta\theta} = \frac{16.815881}{42} = 0.4004 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}} \quad (60)$$

де Φ_l , див. п. 1; $\Delta\theta$, див. п. 1.5.3.4.

1.5.3.6 Визначимо коефіцієнт теплопередачі конструкцій вузла.

1.5.3.7 Складова 1 — «Стіна»:

$$h_{si1} = 8.7 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}} \quad h_{se1} = 23 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$$

1.5.3.8 Визначимо поверхневі опори теплопередачі:

$$R_{si1} = \frac{1}{h_{si1}} = \frac{1}{8.7} = 0.1149 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \quad (61)$$

де h_{si1} , див. п. 1.

$$R_{se1} = \frac{1}{h_{se1}} = \frac{1}{23} = 0.04348 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \quad (62)$$

де h_{se1} , див. п. 1.

1.5.3.9 Товщина та коефіцієнт теплопровідності кожного шару:

$$\delta_{11} = 0.05\text{м} \quad \lambda_{11} = 0.0549999997019768 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\delta_{12} = 0.05\text{м} \quad \lambda_{12} = 0.0549999997019768 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$$

1.5.3.10 Визначимо загальний опір теплопередачі:

						Арк.
						11
Зм.	Кільк.	Арк.	№Док.	Підпис	Дата	

$$R_1 = R_{si1} + \frac{\delta_{11}}{\lambda_{11}} + \frac{\delta_{12}}{\lambda_{12}} + R_{se1} = 0.1149 + \frac{0.05}{0.055} + \frac{0.05}{0.055} + 0.04348 = 1.977 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \quad (63)$$

де R_{si1} , R_{se1} , див. п. 1.5.3.8; δ_{11} , δ_{12} - товщина шару огорожувальної конструкції, див. п. 1, 1; λ_{11} , λ_{12} , див. п. 1.

1.5.3.11 Коефіцієнт теплопередачі конструкції Стіна.

$$U_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{1.977} = 0.506 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}} \quad (64)$$

де R_1 - те саме, що у формулі (10).

1.5.3.12 Довжину 1D елементу конструкції Стіна визначаємо по внутрішній грані. Див. Додаток А

$$L_1 = 0.8 \text{ м}$$

1.5.3.13 Як конструкції, що розділяють внутрішнє і зовнішнє середовище, у подальшому розрахунку розглядаємо: Стіна.

1.5.3.14 Визначаємо лінійний коефіцієнт теплопередачі Ψ згідно з формулою (18) ISO 10211:2017

$$\Psi = L_{s2D} - U_1 L_1 = 0.4004 - 0.506 \cdot 0.8 = -0.004357 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}} \quad (65)$$

де L_{s2D} , див. п. 1.5.3.5; U_1 , див. п. 1.5.3.11; L_1 , див. п. 1.

1.5.4 Загальний результат

Розрахунок виконано для задачі «Стіна з термовключеннями».

Лінійний коефіцієнт теплопередачі $\Psi = -0.004357 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

							Арк.
							12
Зм.	Кільк.	Арк.	№Док.	Підпис	Дата		

1.5.5 Графічні результати та таблиці FEM-моделі

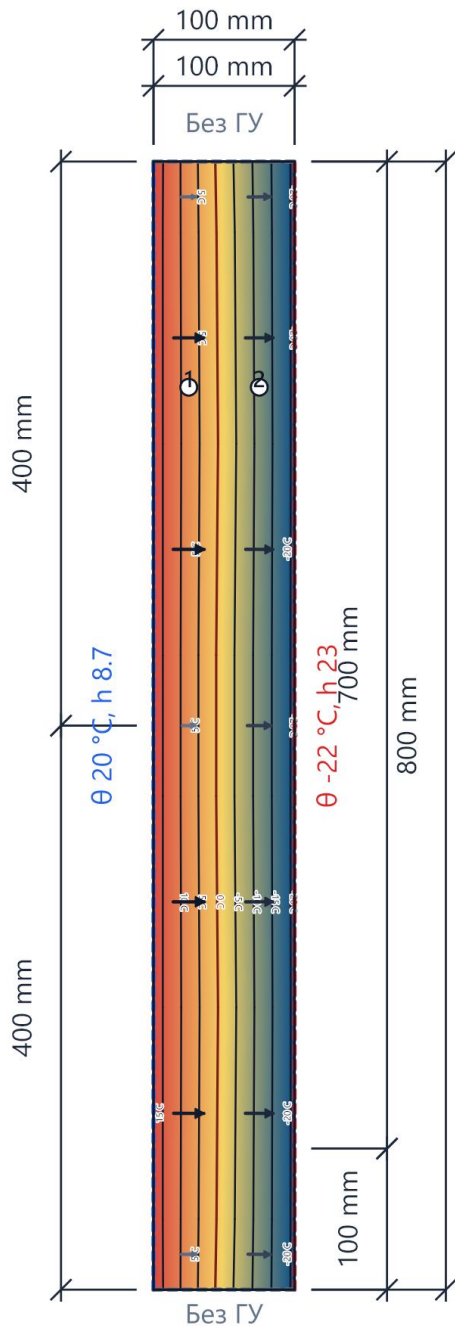


Рисунок 4. Температурне поле FEM-моделі

На рисунку показано розподіл температур у перерізі конструкції: теплі кольори відповідають вищим температурам, холодні — нижчим; лінії позначають ізотерми, стрілки — напрямки теплового потоку. Мінімальна температура — -21.100 °С, максимальна — 17.754 °С. Сітка містить 14 скінченних елементів. Лінійний тепловий потік $\Phi = 16.816$ Вт/м; лінійний коефіцієнт теплопередачі $\Psi = -0.004357$ Вт/(м·К).

Таблиця №11. Вузли FEM-моделі

Вузол	X, м	Y, м	I	J	T, °C
0	0.000000	0.000000	0	0	17.754174
1	0.000000	0.050000	0	1	17.578582
2	0.000000	0.200000	0	2	17.526824
3	0.000000	0.350000	0	3	17.622671

Вузол	X, м	Y, м	I	J	T, °C
4	0.000000	0.450000	0	4	17.622671
5	0.000000	0.600000	0	5	17.526824
6	0.000000	0.750000	0	6	17.578582
7	0.000000	0.800000	0	7	17.754174
8	0.050000	0.000000	1	0	-2.512783
9	0.050000	0.050000	1	1	-2.096405
10	0.050000	0.200000	1	2	-1.629396
11	0.050000	0.350000	1	3	-2.191886
12	0.050000	0.450000	1	4	-2.191886
13	0.050000	0.600000	1	5	-1.629396
14	0.050000	0.750000	1	6	-2.096405
15	0.050000	0.800000	1	7	-2.512783
16	0.100000	0.000000	2	0	-21.099567
17	0.100000	0.050000	2	1	-21.093971
18	0.100000	0.200000	2	2	-21.071296
19	0.100000	0.350000	2	3	-21.094854
20	0.100000	0.450000	2	4	-21.094854
21	0.100000	0.600000	2	5	-21.071296
22	0.100000	0.750000	2	6	-21.093971
23	0.100000	0.800000	2	7	-21.099567

Таблица №12. Элементы FEM-модели

№	Комірка	X1	Y1	X2	Y2	Q , Вт/м²	L_int, м	L_ext, м	Грані	Рядки А.0.3
0	0/0	0.0000	0.0000	0.0500	0.0500	19.9713	0.050000	0.000000	1	A.0.3-1
1	0/1	0.0000	0.0500	0.0500	0.2000	21.3573	0.150000	0.000000	1	A.0.3-2
2	0/2	0.0000	0.2000	0.0500	0.3500	21.4341	0.150000	0.000000	1	A.0.3-3
3	0/3	0.0000	0.3500	0.0500	0.4500	19.8146	0.100000	0.000000	1	A.0.3-4
4	0/4	0.0000	0.4500	0.0500	0.6000	21.4341	0.150000	0.000000	1	A.0.3-5
5	0/5	0.0000	0.6000	0.0500	0.7500	21.3573	0.150000	0.000000	1	A.0.3-6
6	0/6	0.0000	0.7500	0.0500	0.8000	19.9713	0.050000	0.000000	1	A.0.3-7
7	1/0	0.0500	0.0000	0.1000	0.0500	20.6727	0.000000	0.050000	0	-
8	1/1	0.0500	0.0500	0.1000	0.2000	21.1419	0.000000	0.150000	0	-
9	1/2	0.0500	0.2000	0.1000	0.3500	21.0900	0.000000	0.150000	0	-
10	1/3	0.0500	0.3500	0.1000	0.4500	20.7933	0.000000	0.100000	0	-
11	1/4	0.0500	0.4500	0.1000	0.6000	21.0900	0.000000	0.150000	0	-
12	1/5	0.0500	0.6000	0.1000	0.7500	21.1419	0.000000	0.150000	0	-
13	1/6	0.0500	0.7500	0.1000	0.8000	20.6727	0.000000	0.050000	0	-
	Σ конструкция Стіна						0.800000	0.800000		

Таблица №13. Активные граничные грани FEM-модели

Рядок	Элемент	Грань	Вуз. 1	Вуз. 2	t1, °C	t2, °C	t_avg, °C	t_amb, °C	h, Вт/(м²·К)	L_face, м	ΔT, К	q_face, Вт/м
A.0.3-1	0	3	1	0	17.578582	17.754174	17.666378	20.000000	8.700000	0.050000	2.333622	1.015126
A.0.3-2	1	3	2	1	17.526824	17.578582	17.552703	20.000000	8.700000	0.150000	2.447297	3.193723
A.0.3-3	2	3	3	2	17.622671	17.526824	17.574748	20.000000	8.700000	0.150000	2.425252	3.164954
A.0.3-4	3	3	4	3	17.622671	17.622671	17.622671	20.000000	8.700000	0.100000	2.377329	2.068276
A.0.3-5	4	3	5	4	17.526824	17.622671	17.574748	20.000000	8.700000	0.150000	2.425252	3.164954

						Арк. 14
Зм.	Кільк.	Арк.	№Док.	Підпис	Дата	

Рядок	Елемент	Грань	Вуз. 1	Вуз. 2	t1, °C	t2, °C	t_avg, °C	t_amb, °C	h, Вт/(м²·К)	L_face, м	ΔT, К	q_face, Вт/м
A.0.3-6	5	3	6	5	17.578582	17.526824	17.552703	20.000000	8.700000	0.150000	2.447297	3.193723
A.0.3-7	6	3	7	6	17.754174	17.578582	17.666378	20.000000	8.700000	0.050000	2.333622	1.015126
	Σ q_face = Q2D											16.815881 = 16.815881

							Арк.
							15
Зм.	Кільк.	Арк.	№Док.	Підпис	Дата		