

## **ВПЛИВ ТЕПЛОВОЛОГІСНОГО РЕЖИМУ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ І ПРИЧИНИ ЇХ РУЙНУВАННЯ**

**Гапонова Л. В.**

### **ВСТУП**

Нині висуваються серйозні вимоги до енергетичної ефективності будівель. Це зумовлено кліматичними змінами, обмеженістю викопних ресурсів і їх ціною. Ці фактори змушують у будівництві й експлуатації будинків і споруд використовувати ефективні утеплювачі для раціонального використання енергії. Проводячи аналіз ринку сучасних складів-холодильників, можна спостерігати зміну підходу до вибору матеріалів ефективного утеплювача, а також конструктивних схем будівель холодильників. Так, сьогодні віддається перевага каркасним складам-холодильникам, виконаним із металевих конструкцій. Як утеплювач виступають переважно самонесучі сендвіч-панелі, що мають у своєму складі синтетичний ефективний утеплювач, наприклад, пінополіуретан або пінополістирол.

Варто зазначити, що в Україні досі існують багатоповерхові промислові склади-холодильники, які, на відміну від сучасних, виконані монолітними залізобетонними<sup>1</sup>. Як огорожувальні конструкції використовуються збірні навісні самонесучі стінові панелі, а як ефективний утеплювач – базальтові мінераловатні плити. Такий утеплювач має відмінні теплозберігаючі якості, проте, на відміну від сучасних синтетичних матеріалів, має властивість накопичення вологи, що може знизити його основні характеристики.

---

<sup>1</sup> Стоянов Є.Г., Кулаков О.Ю., Корпич Д.О. Відновлення хладо-ефективності огорожувальних конструкцій промислових холодильників. *Комунальне господарство міст*. 2019. Т. 6, № 152. С. 106–110.

## 1. Виникнення передумов проблеми та формулювання проблеми

**Об'єкт дослідження** – багатопверховий промисловий холодильник ТОВ «ХЛАДОПРОМ», розташований за адресою: м. Харків, вул. Хабарова, 1<sup>2</sup>.

**Предмет дослідження** – огорожувальні конструкції стін холодильника та система утеплення.

**Методи дослідження.** Використані чисельні методи будівельної механіки конструкцій, чисельний метод розрахунку тепловтрат огорожувальних конструкцій. Для визначення міцності бетону каркасу будівлі та збірних навісних стінових панелей використано склерометр Шмідта (визначення міцності бетону неруйнівним методом).

Також застосовано лабораторний метод зі встановленням характеристик шляхом руйнування відібраних зразків (прес ПСУ-250 для випробування будівельних матеріалів і конструкцій за ГОСТ 7855-61).

**Практичне значення отриманих результатів полягає:**

– у впровадженні рекомендацій із підвищення несучої здатності огорожувальних конструкцій;

– у впровадженні системи ефективного утеплювача на синтетичній основі у промисловому багатопверховому холодильнику ТОВ «ХЛАДОПРОМ» по вулиці Хабарова, 1 у м. Харків.

У процесі обстеження елементів перекриттів було зафіксовано окремі ділянки поверхневого руйнування захисного шару арматури прогонних плит і дефекти локального руйнування штукатурного захисного шару бетону стиків плит (рис. 1–4).

Вказані дефекти не є масовими та не характерні для всіх елементів перекриття.

Обстеженням встановлено, що зовнішні стінові панелі мають значні дефекти вирячування плитної (тонкої) частини панелей між ребрами жорсткості назовні – до 15–20 см у середній частині. Товщина стінок панелей – 50–60 мм.

Згідно із проектними даними плитна частина має товщину 50–60 мм та армування зварними сітками з арматури Ø6мм АІ(А240С) з чарункою 150×150мм. Арматурна сітка розташована усередині перерізу плитної частини.

---

<sup>2</sup> Чихладзе Е.Д., Гапонова Л.В. Температурно-вологісний режим сталевобетонних несучих і огорожувальних конструкцій промислових будівель та споруд : монографія. Харків : ХНАГХ, 2011. С. 127–133.



**Рис. 1. Фасад П-А по осі 1**



**Рис. 2. Фасад в осях 17-1 по осі П**



**Рис. 3. Фасад в осях 17-1 по осі П**



**Рис. 4. Дефекти руйнування захисного шару арматури плит у камерах 5 поверху**

Розрахунковий опір арматури  $f_{yd} = 225 \text{ МПа} = 22,5 \text{ кН/см}^2$ .

Робоча висота розрахункового перерізу стінки панелі становить  $d = 25 \text{ мм}$ .

У разі випинання стінки між поздовжніми ребрами панелі захисний шар бетону руйнується, у тріщини надходить волога (атмосферна та конденсована), що провокує корозію арматури та подальше руйнування бетону, яке має прогрес. Розтин окремих ділянок вирячених панелей дозволив виявити, що за рахунок корозії робоча арматура має порушену частину перетину з діаметром  $1,5...2,5 \text{ мм}$ , а в окремих місцях арматура зруйнована повністю і висипається як продукт корозії.

Випинання тонкостінної частини стінових панелей викликане пасивним тиском вітрового навантаження (відсос). Згідно із ДБН

В.1.2-2: 2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування»<sup>3</sup> розрахункове вітрове навантаження на стіни будівлі становить:

$$q_w = \gamma_{fm} W_0 c_{aer} c_d c_h, \quad (1)$$

де для будівлі, розташованої у промисловій зоні м. Харкова, при  $T > 0,25$  с

$$\gamma_{fm} = 1,14; w_0 = 0,43 \text{ кН/м}^2; c_{aer} = 0,6; c_d = 1,2; c_h = 1,55;$$

$$q_w = 1,14 \cdot 0,43 \cdot 0,6 \cdot 1,2 \cdot 1,55 = 0,547 \text{ кН/м}^2.$$

При співвідношенні розмірів висоти та ширини плити  $l_h / l_b = 4.8 / 1.8 = 2,67$  розрахунковий погонний згинальний момент у плиті при виникненні пластичних шарнірів у примиканні стінки плити до ребер становить:

$$M = q_w l_b^2 / 8, \quad (2)$$

$$M = 0,547 \cdot 1,8^2 / 8 = 0,222 \text{ кНм/м.}$$

$$\alpha_m = M / f_{cd} b d^2, \quad (3)$$

де шляхом аналізу результатів інструментального неруйнівного тестування бетону плити визначена міцність бетону, відповідна марки 250 (за сучасною класифікацією класу С16 / 20) з розрахунковим опором  $f_{cd} = 11,5 \text{ МПа} = 1,15 \text{ кН/см}^2$ .

$$\alpha_m = 22,2 / 1,15 \cdot 100 \cdot 2,5^2 = 0,0308; \quad \zeta = 0,984.$$

Розрахункова площа перерізу арматури на погонній ширині плити становить:

- при кінцевому діаметрі арматури 1,5 мм  $A_{s1} = 0,124 \text{ см}^2$ ;
- при кінцевому діаметрі арматури 2 мм  $A_{s2} = 0,22 \text{ см}^2$ ;
- при кінцевому діаметрі арматури 2,5 мм  $A_{s3} = 0,343 \text{ см}^2$ .

Несуча здатність плити при дії вітрового навантаження за різного рівня корозії арматури відповідно становить:

$$M_{u1} = \zeta A_s f_{yd} d, \quad (4)$$

$$M_{u1} = 0,984 \cdot 0,124 \cdot 22,5 \cdot 2,5 = 6,86 \text{ кНсм} = 0,0686 \text{ кНм} < M = 0,222 \text{ кНм};$$

$$M_{u2} = 0,984 \cdot 0,22 \cdot 22,5 \cdot 2,5 = 12,18 \text{ кНсм} < M = 0,222 \text{ кНм};$$

$$M_{u3} = 0,984 \cdot 0,343 \cdot 22,5 \cdot 2,5 = 19,0 \text{ кНсм} < M = 0,222 \text{ кНм}.$$

---

<sup>3</sup> ДБН В.1.2-2 :2006 Навантаження і впливи. Норми проектування. Київ : Мінбуд України, 2006.

Отже, при корозії арматури, що зменшує діаметр робочого перетину стрижнів до 2,8...3,0 мм, можливе вичерпання несучої здатності плити та її руйнування.

За будь-якого наднормативного вітрового впливу (форс-мажору) також можливе випинання і руйнування тонкостінної частини стінових панелей.

Стрижень кріплення стінових панелей до перекриття сприймає зусилля розтягу від вітрового навантаження із площі  $4,8 \times 2,0$  м, що становить

$$N = 0,597 \times 4,8 \times 2 = 5,73 \text{ кН.}$$

Допустимий переріз стрижня кріплення панелей  $A_s = 5,73 / 22,5 = 0,255 \text{ см}^2$ ,

Допустимий мінімальний діаметр стрижня  $d_{\min} = 6 \text{ мм}$ .

## **2. Аналіз методів вирішення проблеми та формулювання завдання**

Як було зазначено раніше, причинами руйнування (вирячування) стінових панелей став пасивний тиск вітру та корозія робочої арматури тонкостінної частини панелі. Корозія арматури зумовлена порушенням тепловологісного режиму експлуатації огорожувальної конструкції.

Порушення тепловологісного режиму пов'язане з: недосконалістю тогочасних конструктивних рішень окремих вузлів теплової ізоляції огорожувальних конструкцій; порушенням технології виробництва, а саме порушенням цілісності пароізоляційного шару на момент його монтажу; ущільненням теплоізоляційного матеріалу.

Огорожувальна конструкція складається зі збірної залізобетонної стінової панелі  $t = 60$  мм; паробар'єру – дорудіну; утеплювача – мінераловатних плит  $t = 300$  мм у тонкостінній частині панелі, а також  $t = 180$  мм у зоні вертикальних стиків панелей; дерев'яного каркасу, у який вкладаються плити утеплювача; оздоблювального шару цементно-піщаної штукатурки  $t = 20$  мм. У місці кріплення стінових панелей до перекриттів (горизонтальних стиках) майже відсутній утеплювач, що спричиняє значні втрати холоду та порушує тепловологісний режим.

Розрахунок тепловологісного режиму огорожувальних конструкцій виконується згідно із ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 «Настанова з

розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій»<sup>4</sup>.

Розрахунок тепловологісного стану огорожувальних конструкцій (стінових панелей) проводиться з урахуванням вищезазначених дефектів, а саме осипання мінераловатного утеплювача, фізичного старіння. Розрахунок виконаємо для найтеплішого місяця без урахування шару утеплювача, оскільки його ефективність мінімальна, а в окремих місцях спостерігається його відсутність.

У табл. 1 наведено показники середньомісячної температури та вологості у місті Харків згідно із ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010<sup>5</sup>.

Таблиця 1

**Значення середньомісячної температури та вологості в м. Харків**

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Середньомісячна температура повітря $t_3, ^\circ\text{C}$	-5,9	-5,1	0,0	9,0	15,5	18,9	20,7	19,7	14,1	7,5	1,0	-3,7
Середньомісячна вологість повітря $\varphi_3, \%$	84	83	79	67	60	64	66	64	70	77	86	87

Значення температури та вологості в морозильних камерах: температура повітря  $t_b = -18 ^\circ\text{C}$ , відносна вологість повітря  $\varphi_b = 90\%$ .

Розрахункові характеристики за умов експлуатації, товщини окремих шарів наведено у табл. 2.

Таблиця 2

**Розрахункові характеристики матеріалів за умов експлуатації**

№	Назва	Товщина $\delta, \text{м}$	Тепло-провідність $\lambda_p, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	Коефіцієнт паропроникності $\mu, \text{мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$
1	Дорулін	0,003	0,17	0,001
2	Залізобетонна стінова панель	0,06	2,04	0,03
3	Фактурний шар, штукатурка на цементно-піщаному розчині	0,02	0,17	0,09

<sup>4</sup> ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій. Київ : Мінрегіон України, 2014.

<sup>5</sup> ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011.

Опори паропроникненню кожного шару  $R_{ex}$  та конструкції загалом  $R_{e\Sigma}$  визначають за формулами:

$$R_{ex} = \sum_{j=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i}, \quad (5)$$

$$R_{e\Sigma} = \sum_{j=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i}, \quad (6)$$

де  $n$  – загальна кількість шарів конструкції;  $\delta_i$  – товщина  $i$ -ого шару конструкції;  $\mu_i$  – коефіцієнт паропроникності  $i$ -ого шару конструкції.

Результати розрахунків опорів паропроникненню окремих шарів і конструкції загалом наведені у табл. 3.

Таблиця 3

**Значення опорів паропроникненню шарів конструкції**

Назва шару	Значення опору паропроникненню $R_{ex}$ , (м <sup>2</sup> ·год·Па)/мг
Доруплін	3
Залізобетонна стінова панель	2
Фактурний шар ЦПС	0,22
Сумарний опір $R_{\Sigma}$	5,22

Визначаємо розподіл температур  $t(x)$ , °С, по товщині конструкції.

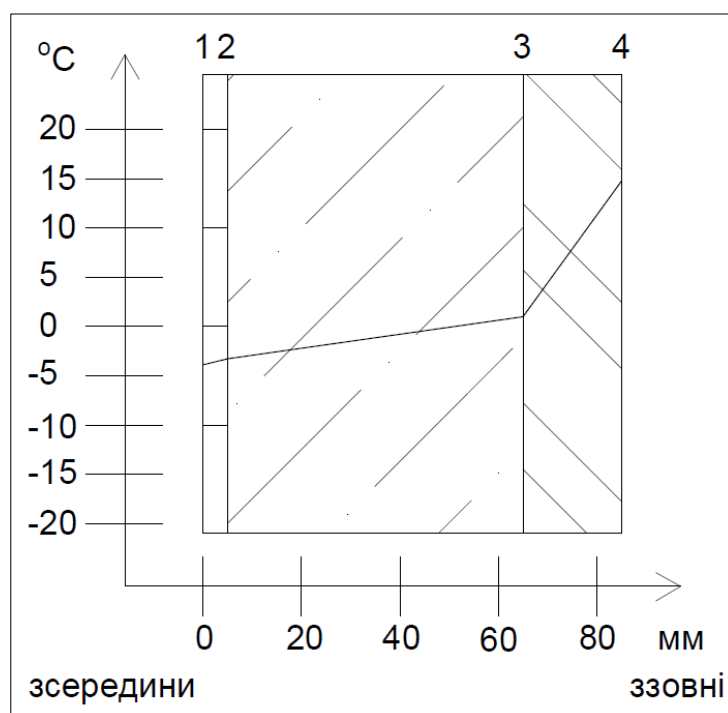
$$t(x) = t_B - \frac{t_B - t_3}{R_{\Sigma}} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_B} + R_x \right), \quad (7)$$

де  $R_{\Sigma}$  – опір передачі огорожувальної конструкції, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;  $\alpha_B$  – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м<sup>2</sup>·К), для стін дорівнює 8,7;  $R_x$  – опір теплопередачі частини огорожувальної конструкції, розташованої між внутрішньою поверхнею та площиною, для якої проводиться розрахунок, (м<sup>2</sup>·К)/Вт.

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (8)$$

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8,7} + \left( \frac{0,003}{0,17} + \frac{0,06}{2,04} + \frac{0,02}{0,17} \right) + \frac{1}{23} = 0,33 \quad (\text{м}^2 \cdot \text{К}) / \text{Вт}.$$

Результати розрахунку розподілу температур  $t(x)$  наведені на рис. 5 та в табл. 4.



**Рис. 5. Графік розподілу температури по товщині конструкції**

Таблиця 4

**Значення температури на межах шарів**

Розрахункова точка	T1	T2	T3	T4
Температура, °C	-4,52	-2,45	0,99	14,79

Визначаємо парціальні тиски водяної пари  $e$ , Па, на внутрішній  $e_B$  та зовнішній  $e_3$  поверхні конструкції за формулами:

$$e_B = 0.01 \cdot \varphi_B \cdot E_B, \quad (9)$$

$$= 0.01 \cdot \varphi_3 \cdot E_3, \quad (10)$$

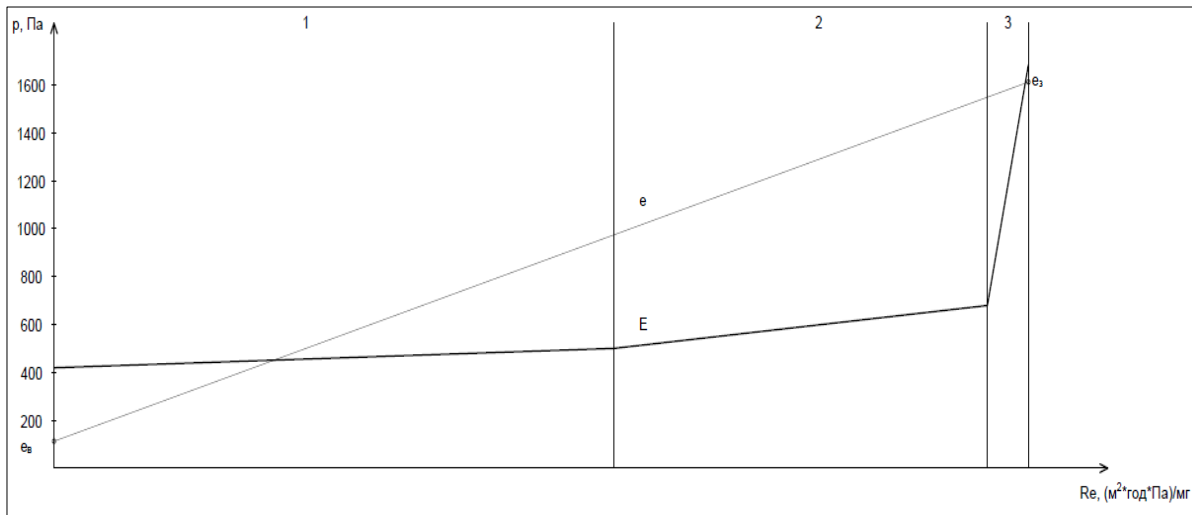
де  $E_6$  та  $E_3$  – значення тиску насиченої водяної пари за температури зсередини та ззовні відповідно, визначаються згідно із таблицею Б.1 ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013.

$$e_B = 0.01 \cdot 90 \cdot 125 = 112.5 \quad (\text{Па}),$$

$$e_3 = 0.01 \cdot 66 \cdot 2443 = 1612 \quad (\text{Па}).$$

Розподіл парціального тиску насиченої пари по товщині конструкції  $E_x$  визначається згідно з розподілом  $t(x)$  і таблицею Б.1 ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013.





**Рис. 6. Графік розподілу парціального тиску насиченої водяної пари по товщині конструкції**

Як видно із графіка, лінії  $E$  й  $e$  перетинаються. Це означає, що у конструкції, де відбулося осипання мінераловатного утеплювача (його відсутність), а також у зоні примикання протипожежного монолітного бетонного поясу до стінових панелей утворюється зона конденсації.

Користуючись формулами 7–10, ми встановили, що період накопичення вологи становить 12 місяців.

Для розрахунку кількості накопиченої вологи у конструкції скористаємося формулами 11–13.

$$i_3 = \frac{e_3 - p_3}{R_{e3}}. \quad (11)$$

$$i_B = \frac{p_B - e_B}{R_{eB}}. \quad (12)$$

$$W = \tau \cdot (i_3 - i_B) \cdot 10^{-6}, \quad (13)$$

де  $i_3$  — кількість водяної пари, мг/(м²·год), що надходить до зони конденсації ззовні;

$i_B$  — кількість водяної пари мг/(м²·год), яка виводиться із конструкції до приміщення;

$R_{e3}$  — опір паропроникненню частини конструкції, що знаходиться між зовнішньою поверхнею огорожувальної конструкції та зоною конденсації, (м²·год·Па)/мг;

$R_{eB}$  — опір паропроникненню частини конструкції, яка знаходиться між внутрішньою поверхнею огорожувальної конструкції та зоною конденсації, (м²·год·Па)/мг;

$\tau$  – кількість годин розрахункового місяця періоду вологонакопичення, год;

$W$  – кількість вологи, що конденсується у конструкції за розрахунковий місяць,  $\text{кг}/\text{м}^2$ .

Оскільки за таких умов період випаровування відсутній, подальші розрахунки не проводяться. Результати розрахунків за формулами 11–13 наведено в табл. 5.

Таблиця 5

**Зведені результати розрахунку кількості вологи  
в огорожувальній конструкції за розрахунковий період**

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XIII
$i_z$	438	483	925	1632	2373	3556	4240	3795	2818	1883	1316	694
$i_g$	28.5	29.8	50.8	74.5	102	118.5	129	123	95	68	46	33.5
$W$	0,3	0.3	0.65	1.12	1.68	2.47	3.05	2.73	1.96	1.35	0.91	0.49

Як висновок, можна сказати, що дефекти термоізоляції огорожувальних конструкцій (стінових панелей) викликали накопичення вологи у товщі стінових панелей і корозію робочої арматури, що в сукупності з пасивною дією вітру (відсос) призвело до вирячування окремих стінових панелей.

**3. Технічні рішення щодо відновлення несучої здатності  
та хладоефективності огорожувальних конструкцій  
холодильника**

У цьому випадку ремонт пошкоджених панелей відбувається без демонтажу «вирячених» панелей. Для цього влаштовуються анти-вітрові пояси у двох рівнях на кожному поверсі, які будуть сприймати вітрове навантаження. Ці пояси наскрізь через стінові панелі кріпляться до каркасу будівлі (колон).

Погонне навантаження  $q$  на один пояс обчислюється за формулою 14:

$$q = q_w \cdot b, \quad (14)$$

де  $q_w$  – розрахункове вітрове навантаження на стіни будівлі, прийняте за формулою 4.1;

$b$  – вантажна полоса, яка дорівнює 1,65 м.

$$q = 0.547 \cdot 1.65 = 0.903 \text{ (кН/м)}.$$

Згинальний момент  $M$  обчислюється за формулою 15:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8}, \quad (15)$$

де  $l$  – довжина прольоту, рівна 6 м.

$$M = \frac{0.903 \cdot 6^2}{8} = 4,06 \text{ (кН}\cdot\text{м)}.$$

Металеві конструкції антивітрового поясу приймаються зі сталі С245. Розрахунковий опір  $R_y=23,5$  кН/см<sup>2</sup>. Момент опору обчислюється за формулою 16.

$$W = \frac{M}{R_y}, \quad (16)$$

$$W = \frac{406}{23.5} = 17.3 \quad (\text{см}^3).$$

Конструктивно приймається пояс зі швелера [ 12.Зусилля  $N_t$ , яке передається на тяж кріплення пояса до колони каркаса:

$$N_t = \frac{q \cdot l}{2}, \quad (17)$$

$$N_t = \frac{0.903 \cdot 6}{2} = 2.7 \text{ (кН)}.$$

Переріз тяжа  $A_t$  обчислюється за формулою 18.

$$A_t = \frac{N_t}{R_y}, \quad (18)$$

$$A_t = \frac{2.7}{23.5} = 0.12 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Конструктивно, враховуючи високу вологість приміщення морозильних камер, тяж приймається діаметром не менше 12 мм.

#### **4. Хладоефективність наявного конструктивного рішення теплоізоляції**

Розрахунок виконано згідно з наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 169 від 16 червня 2018 р. «Про затвердження методики визначення енергетичної ефективності будівель», ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель»<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. Київ : Мінрегіон України, 2017.

**Відомість матеріалів складу огорожувальної конструкції**

Матеріал	Товщина шару $\delta$ , мм	Теплопровідність $\lambda_p$ , Вт/(м·К)	Коефіцієнт теплосвоєння $s$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
Цементно-піщаний розчин (штукатурка)	20	0,93	11,09
Залізобетонна панель	60	2,04	18,95
Гідро-пароізоляція (дорулін)	3	0,17	3,53
Базальтовий мінераловатний утеплювач ( $\rho=150$ кг/м <sup>3</sup> )	300	0,05	0,63
Цементно-піщаний розчин (штукатурка)	20	0,93	11,09
Пінобетон	120	0,5	7,74

Розрахований показник теплової інерції огорожувальної конструкції  $D$ , що визначається згідно із ДБН В.2.6-31:2016:

$$D = \sum_{i=1}^n R_i \cdot S_i, \quad (19)$$

де  $R_i$  – тепловий опір  $i$ -ого шару констркції, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;

$S_i$  – розрахунковий коефіцієнт теплосвоєння матеріалу шару, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}. \quad (20)$$

$$D = \frac{0.02}{0.93} \times 11.09 + \frac{0.06}{2.04} \times 18.95 + \frac{0.003}{0.17} \times 3.53 + \frac{0.3}{0.049} \times 0.63 + \frac{0.02}{0.93} \cdot 11.09 = 5.1$$

Згідно із табл. 4 ДБН В.2.6-31:2016 при  $D > 1.5$  для 1-ї кліматичної зони для зовнішніх непрозорих стін будівель із вологим і мокрим режимом експлуатації мінімальний приведений опір теплопередачі становить  $R_{q \min} = 1,8$  (м<sup>2</sup>·К)/Вт.

Опір теплопередачі термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції розраховують за формулою<sup>7</sup>:

<sup>7</sup> ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ : Мінрегіон України, 2014.

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (21)$$

де  $\alpha_B$ ,  $\alpha_3$  – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції згідно з додатком Б ДСТУ Б В.2.6-189:2013 приймаються 8,7 і 23 відповідно;

$n$  – кількість шарів огорожувальної конструкції;

$\delta_i$  – товщина  $i$ -ого шару конструкції, мм;

$\lambda_i$  – теплопровідність  $i$ -ого шару конструкції.

Приведений опір теплопередачі з урахуванням термічних неоднорідностей визначають за формулою:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum k_j \cdot L_j + \sum \Psi_i \cdot N_k}, \quad (22)$$

де  $F_{\Sigma}$  – загальна площа огорожувальної конструкції, м<sup>2</sup>;

$F_i$  – площа  $i$ -ої термічно однорідної частини конструкції, м<sup>2</sup>;

$R_{\Sigma i}$  – опір теплопередачі  $i$ -ої термічно однорідної частини конструкції, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;

$k_j$  – лінійний коефіцієнт теплопередачі  $j$ -го лінійного теплопровідного включення, Вт/(м·К);

$L_j$  – лінійний розмір  $j$ -го лінійного теплопровідного включення, м;

$\Psi_k$  – точковий коефіцієнт теплопередачі  $k$ -ого теплопровідного включення, Вт/К;

$N_k$  – загальна кількість  $k$ -х теплопровідних включень.

У цьому розрахунку лінійні та точкові коефіцієнти теплопередачі дорівнюють 0.

Площу та товщину термічно однорідних частин наведено в табл. 7.

Згідно з формулою (3.21) розрахуємо опір теплопередачі  $R_{\Sigma k}$  для кожної ділянки, де індекс  $k$  – номер термічно однорідної ділянки.

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8.7} + \left( \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.06}{2.04} + \frac{0.3}{0.049} + \frac{0.003}{0.17} + \frac{0.02}{0.93} \right) + \frac{1}{23} = 6.32 \text{ (м}^2 \cdot \text{К/Вт)}.$$

$$R_{\Sigma 2} = \frac{1}{8.7} + \left( \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.2}{2.04} + \frac{0.6}{2.04} + \frac{0.12}{0.5} \right) + \frac{1}{23} = 0.63 \text{ (м}^2 \cdot \text{К/Вт)}.$$

$$R_{\Sigma 3} = \frac{1}{8.7} + \left( \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.2}{2.04} + \frac{0.18}{0.049} + \frac{0.003}{0.17} + \frac{0.02}{0.93} \right) + \frac{1}{23} = 3.56 \text{ (м}^2 \cdot \text{К/Вт)}.$$

$$R_{\Sigma 4} = \frac{1}{8.7} + \left( \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.2}{2.04} + \frac{0.18}{0.049} + \frac{0.003}{0.17} + \frac{0.02}{0.93} \right) + \frac{1}{23} = 3.56 \text{ (м}^2 \cdot \text{К/Вт)}.$$

**Термічно однорідні ділянки огорожувальних конструкцій**

№	Назва ділянки	Склад ділянки	Площа ділянки F, м <sup>2</sup>
1	Плитна частина стінових панелей	Штукатурка ЦПС t = 20 мм, Залізобетонна плита t = 60 мм, Руберойд t = 3 мм, Мінвата t = 300 мм, Штукатурка ЦПС t = 20 мм,	3704
2	Горизонтальні шви в місці прилягання протипожежного монолітного поясу	Штукатурка ЦПС t = 20 мм, Залізобетонна плита t = 60 мм, Пінбетон t = 120 мм Монолітний пояс t = 500 мм	550
3	Горизонтальні шви у місці примикання до даху	Штукатурка ЦПС t = 20 мм, Залізобетонні ребра t = 200 мм, Руберойд t = 3 мм, Монолітний бетонний пояс t = 500 мм	22
4	Вертикальні шви	Штукатурка ЦПС t = 20 мм, Залізобетонні ребра t = 200 мм, Руберойд t = 3 мм, Мінвата t = 100 мм, Штукатурка ЦПС t = 20 мм,	140

Розрахуємо приведенний опір теплопередачі з урахуванням термічно неоднорідних ділянок згідно з формулою (22):

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{4416}{\frac{3704}{6.32} + \frac{550}{0.63} + \frac{22}{3.56} + \frac{140}{3.56}} = 2.93 \text{ (м}^2 \cdot \text{К/Вт)}.$$

Як бачимо,  $R_{\Sigma \text{пр}} > R_{q \text{ min}}$ , умова по термічному опорі теплоізоляції огорожувальних конструкцій (стін) виконується.

Вихідні дані для розрахунку енерговтрат при охолодженні:

- задана температура для охолодження  $\theta_{\text{int, set}}$ , C = -18 °C;
- години використання заданої температури за тиждень 168 год;
- площа зони із заданою температурою  $A_{f, \text{конд}} = 10530 \text{ м}^2$ ;
- висота поверху  $h = 4,85 \text{ м}$ ;
- кондиціонований об'єм  $V_{\text{кон}} = 51070 \text{ м}^3$ ;
- площа огорожуючих конструкцій  $A_f = 4416 \text{ м}^2$ .

Для спрощення розрахунків вважатимемо, що теплопередача між суміжними камерами та вестибюлями відсутня, оскільки в них підтримується задана температура. Теплові втрати через стелю 5 поверху та підвальні приміщення не враховуємо.

Теплопровідність огорожувальних конструкцій  $U_i$ :

$$U_i = \frac{1}{R_{\Sigma пр}}, \quad (23)$$

$$U_i = \frac{1}{2.93} = 0.341 \text{ (Вт/(м}^2\cdot\text{К))}.$$

Розрахуємо узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією  $H_{tr,adj}$ :

$$H_{tr,adj} = A_f \cdot (U_i + 0.075) \quad (24)$$

$$H_{tr,adj} = 4416 \cdot (0.463 + 0.075) = 1838$$

Сумарні тепловтрати трансмісією  $Q_{tr}$ :

$$Q_{tr} \sum_{i=1}^{12} \frac{H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,C} - \theta_{C_i}) \cdot t_i}{1000} \quad (25)$$

де  $t_i$  – кількість годин у місяці  $\theta_{C_i}$  – середня температура зовнішнього середовища в години, коли працює охолодження.

$$\begin{aligned} Q_{tr} = & \frac{1838 \cdot ((-18) - (-3.5)) \cdot 744}{1000} + \frac{1838 \cdot ((-18) - (-2.6)) \cdot 672}{1000} + \\ & + \frac{1838 \cdot ((-18) - (-2)) \cdot 744}{1000} + \frac{1838 \cdot ((-18) - 10.1) \cdot 720}{1000} + \\ & + \frac{1838 \cdot ((-18) - 16.4) \cdot 744}{1000} + \frac{1838 \cdot ((-18) - 20.2) \cdot 720}{1000} + \\ & + \frac{1838 \cdot ((-18) - 22.4) \cdot 744}{1000} + \frac{1838 \cdot ((-18) - 21.4) \cdot 744}{1000} + \\ & + \frac{1838 \cdot ((-18) - 16.2) \cdot 720}{1000} + \frac{1838 \cdot ((-18) - 9.6) \cdot 744}{1000} + \\ & + \frac{1838 \cdot ((-18) - 3.5) \cdot 720}{1000} + \frac{1838 \cdot ((-18) - (-1.1)) \cdot 744}{1000} = \\ & = -474213 \text{ (кВт*год)} \end{aligned}$$

Сумарні теплові надходження від'ємні, тому що задана температура від'ємна. Загальні втрати холоду беремо по модулю  $Q_{tr}=474213$  (кВт\*год).

#### 4.1. Хладоефективність конструктивного рішення теплоізоляції з напилюваного ППУ

Оскільки в огорожувальній конструкції залишаються стінові панелі, приймаємо теплову інерцію  $D > 1.5$ , мінімальний опір теплопередачі  $R_{q \min} = 1,8 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$ . Приймаємо товщину шару утеплювача  $t = 150 \text{ мм}$ . Товщина шару утеплювача по всій площі, крім монолітного протипожежного поясу, рівна, тож для спрощення розрахунку вважатимемо, що ця площа термічно однорідна. Відомості про склад термічно однорідних ділянок наведено у табл. 8.

Таблиця 8

**Термічно однорідні ділянки огорожувальної конструкції за утеплення напилюваним ППУ**

№	Назва ділянки	Склад ділянки	Площа ділянки $F, \text{ м}^2$
1	Плитна частина стінових панелей	Штукатурка ЦПС $t = 20 \text{ мм}$ , Залізобетонна плита $t = 60 \text{ мм}$ , Вспінений ППУ $t = 150 \text{ мм}$	4278
2	Горизонтальні шви у місці прилягання до перекриття	Штукатурка ЦПС $t = 20 \text{ мм}$ , Залізобетонна плита $t = 60 \text{ мм}$ , Пінбетон $t = 120 \text{ мм}$	138
3	Точкові теплопровідні включення	Арматура $\varnothing 12A240C$	0,05

Розрахуємо опори теплопередачі термічно однорідних ділянок і наведений опір теплопередачі за формулами.

$$R_{\Sigma 1} = \frac{1}{8.7} + \left( \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.06}{2.04} + \frac{0.15}{0.022} \right) + \frac{1}{23} = 7.03 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}.$$

$$R_{\Sigma 2} = \frac{1}{8.7} + \left( \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.06}{2.04} + \frac{0.12}{0.5} \right) + \frac{1}{23} = 0,44 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}.$$

$$R_{\Sigma 3} = \frac{1}{8.7} + \frac{2}{58} + \frac{1}{23} = 0,18 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}.$$

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{4416}{\frac{4278}{7.03} + \frac{138}{0.44} + \frac{0.05}{0.18}} = 4.79 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}.$$

Теплопровідність огорожувальної конструкції:



$$U_i = \frac{1}{4.79} = 0.208 \text{ (Вт/(м}^2\text{*К))}.$$

Розрахуємо узагальнений коефіцієнт передачі трансмісією  $H_{tr,adj}$ :

$$H_{tr,adj} = 4416 \cdot (0.208 + 0.075) = 1250.$$

Сумарні тепловтрати трансмісією  $Q_{tr}$ :

$$\begin{aligned} Q_{tr} = & \frac{1250 \cdot ((-18) - (-3.5)) \cdot 744}{1000} + \frac{1250 \cdot ((-18) - (-2.6)) \cdot 672}{1000} + \\ & + \frac{1250 \cdot ((-18) - (-2)) \cdot 744}{1000} + \frac{1250 \cdot ((-18) - 10.1) \cdot 720}{1000} + \\ & + \frac{1250 \cdot ((-18) - 16.4) \cdot 744}{1000} + \frac{1250 \cdot ((-18) - 20.2) \cdot 720}{1000} + \\ & + \frac{1250 \cdot ((-18) - 22.4) \cdot 744}{1000} + \frac{1250 \cdot ((-18) - 21.4) \cdot 744}{1000} + \\ & + \frac{1250 \cdot ((-18) - 16.2) \cdot 720}{1000} + \frac{1250 \cdot ((-18) - 9.6) \cdot 744}{1000} + \\ & + \frac{1250 \cdot ((-18) - 3.5) \cdot 720}{1000} + \frac{1250 \cdot ((-18) - (-1.1)) \cdot 744}{1000} = \\ & = -342392 \text{ кВт*год).} \end{aligned}$$

Сумарні теплові надходження від'ємні, тому що задана температура від'ємна. Тому загальні втрати холоду беремо по модулю  $Q_{tr}=342392$  (кВт\*год).

#### 4.2. Хладоефективність конструктивного рішення теплоізоляції із сендвіч-панелей ППУ

Оскільки наявні огорожувальні конструкції (стінові панелі) демонтуються та замінюються на сендвіч-панелі з ППУ, то можна вважати, що вся площа огорожувальних конструкцій термічно однорідна

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8.7} + \frac{0.15}{0.022} + \frac{1}{23} = 6,97 \text{ (м}^2\text{*К/Вт)}.$$

Термічні неоднорідності пов'язані з недосконалістю монтажу, а також кінцевою теплопровідністю термоголівки кріплення сендвіч-панелей до кріпильного каркасу, що враховується понижувальним коефіцієнтом  $\gamma=0,9$ .

$$R_{\Sigma пр} = 6,97 \cdot 0,9 = 6,24 \text{ (м}^2\text{*К/Вт)}.$$

Теплопровідність огорожувальної конструкції  $U_i$ :

$$U_i = \frac{1}{6,24} = 0,16 \text{ (Вт/(м}^2\text{*К))}.$$

Розрахуємо узагальнений коефіцієнт передачі трансмісією  $H_{tr,adj}$ :

$$H_{tr,adj} = 4416 \cdot (0,16 + 0,075) = 740.$$

Тоді сумарні теплові втрати трансмісією  $Q_{tr}$  дорівнюють:

$$\begin{aligned} Q_{tr} = & \frac{740 \cdot ((-18) - (-3.5)) \cdot 744}{1000} + \frac{740 \cdot ((-18) - (-2.6)) \cdot 672}{1000} + \\ & + \frac{740 \cdot ((-18) - (-2)) \cdot 744}{1000} + \frac{740 \cdot ((-18) - 10.1) \cdot 720}{1000} + \\ & + \frac{740 \cdot ((-18) - 16.4) \cdot 744}{1000} + \frac{740 \cdot ((-18) - 20.2) \cdot 720}{1000} + \\ & + \frac{740 \cdot ((-18) - 22.4) \cdot 744}{1000} + \frac{740 \cdot ((-18) - 21.4) \cdot 744}{1000} + \\ & + \frac{740 \cdot ((-18) - 16.2) \cdot 720}{1000} + \frac{740 \cdot ((-18) - 9.6) \cdot 744}{1000} + \\ & + \frac{740 \cdot ((-18) - 3.5) \cdot 720}{1000} + \frac{740 \cdot ((-18) - (-1.1)) \cdot 744}{1000} = \\ & = -294139 \text{ кВт*год).} \end{aligned}$$

Сумарні теплові надходження від'ємні, тому що задана температура від'ємна. Тому загальні втрати холоду беремо по модулю  $Q_{tr}=294139$  (кВт\*год).

За результатами розрахунків найнижчі показники втрати холоду отримані за використання сендвіч-панелей. Це пояснюється тим, що у цьому конструктивному рішенні вся площа огорожувальної конструкції є термічно однорідною.

## ВИСНОВКИ

Проведено аналіз конструктивних рішень функціонуючих промислових холодильників і підходів до вибору несучих конструкцій і теплоізоляційних матеріалів. Встановлено, що через фізичне старіння мінераловатного утеплювача, а також через його осипання відбулося порушення тепловологісного режиму роботи стінових огорожувальних конструкцій. Це призвело до накопичення вологи у стінових панелях і подальшої корозії робочої арматури панелей. Розтин окремих частин панелей встановив, що за рахунок корозії переріз робочої арматури становить 1,5–3 мм, а окремих місцях зруйнована повністю. У поєднанні з пасивною дією вітру це призвело до вирячування тонкостінної частини панелей.

Виходячи з аналізу причин руйнування ми розробили рекомендації щодо відновлення експлуатаційної придатності наявних огорожувальних конструкцій і відновлення їх хладоефективності за рахунок використання сучасного теплоізоляційного матеріалу – пінополіуретану. Також запропоновано повну заміну огорожувальних конструкцій на сендвіч-панелі.

На основі запропонованих рішень із відновлення хладоефективності було виконано порівняльний розрахунок теплових втрат наявного конструкційного рішення теплової ізоляції за ідеальних умов і запропонованих рішень.

Розрахунком доведено, що найефективнішим рішенням із погляду хладоефективності є використання сендвіч-панелей, адже вони усувають містки холоду, спричинені конструктивними рішеннями розглядуваної будівлі.

### **АНОТАЦІЯ**

На базі будівлі промислового холодильника, що належить ТОВ «ХЛАДОПРОМ», м. Харків, було проведено дослідження причин руйнування стінових огорожувальних конструкцій за шістдесятирічний період експлуатації. Встановлено, що через фізичне старіння мінераловатного утеплювача, а також через його осипання відбулося порушення тепловологісного режиму роботи стінових огорожувальних конструкцій. Це призвело до накопичення вологи у стінових панелях і подальшої корозії робочої арматури панелей. Розтин окремих частин панелей встановив, що за рахунок корозії переріз робочої арматури становить 1,5–3 мм, а окремих місцях зруйнована повністю. У поєднанні з пасивною дією вітру це призвело до вирячування тонкостінної частини панелей.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Стоянов Є.Г., Кулаков О.Ю., Корпич Д.О. Відновлення хладоефективності огорожувальних конструкцій промислових холодильників. *Комунальне господарство міст*. 2019. Т. 6. № 152. С. 106–110.
2. Чихладзе Е.Д., Гапонова Л.В. Температурно-вологісний режим сталевобетонних несучих і огорожувальних конструкцій промислових будівель та споруд : монографія. Харків : ХНАГХ, 2011. С. 127–133.
3. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування. Київ : Мінбуд України, 2006.

4. ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій. Київ : Мінрегіон України, 2014.
5. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011.
6. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. Київ : Мінрегіон України, 2017.
7. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ : Мінрегіон України, 2014.

**Information about the author:**

**Напонова Liudmyla Viktorivna,**

Ph.D., Associate Professor,

Associate Professor at the Department of Building Structures

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

17, Marshal Bazhanov str., Kharkiv, 61002, Ukraine