

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 697.133

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.100-109](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.100-109)

І.В. Савеленко, доц., канд. техн. наук, **К.Г. Петрова**, доц., канд. техн. наук, **С.В. Серебренніков**, проф., канд. техн. наук, **О.І. Сіріков**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: kateflash27@gmail.com

Формування оптимальних енергетичних та теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій будівель

Досліджено особливості впливу термоізоляційних матеріалів на теплотехнічні та енергетичні показники огорожувальних конструкцій будівлі. Виявлено протилежний вплив густини деяких утеплювачів на опір теплопередачі. Методом експертних оцінок за техніко-енергетичним, фінансовим та екологічним критеріями обґрунтовано комплекс заходів з термомодернізації огорожувальних конструкцій. Доведено, що за нормативних значень опорів теплопередачі матеріалів огорожувальних конструкцій, без модернізації інженерних систем, досягти рекомендованого класу "С" енергоефективності будівлі не можливо.

огорожувальні конструкції, термомодернізація, теплофізичні показники, енергоефективність будівлі

Постановка проблеми. Енергетичний баланс України засвідчує, що понад 30 % загальної кількості енергії споживає житловий сектор, з них 80 % – на потреби опалення. Це пов'язане із заниженим рівнем енергоефективності огорожувальних конструкцій житлових будівель та незадовільним технічним станом інженерних мереж. Така ситуація вимагає нагального пошуку науково обґрунтованих інженерних рішень щодо термомодернізації існуючих будівель, яка б дозволила зменшити загальне енергоспоживання за дотримання житлових норм. Розроблення та впровадження інноваційних заходів з підвищення рівня енергоефективності житлових будівель з урахуванням кліматичних, географічних, інфраструктурних та інших особливостей України, дозволить істотно скоротити споживання теплової енергії і зміцнити енергетичну безпеку держави.

На сьогодні, дискусійними залишаються питання, пов'язані з альтернативами вибору термоізоляційних матеріалів, їх конструктивних параметрів та неоднозначністю впливу на теплотехнічні й енергетичні показники будівлі. Це обумовлює актуальність науково-інженерних досліджень, спрямованих на виявлення та обґрунтування мінімально необхідної низки енергоощадних заходів для забезпечення прийняттого рівня енергоефективності типових будівель.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Термічний опір огорожувальних конструкцій більшості житлових будівель 1960-1990 років забудови у 2-4 рази менший за нормативні вимоги [1]. Дослідження роботи [2] свідчать, що до 65 % теплової енергії втрачається через огорожувальні конструкції внаслідок недостатніх термозахисних властивостей, з них: через стіни, покриття та перекриття – до 70%, а через вікна та двері – близько 30%. У [2] обґрунтовано проектні та будівельно-технологічні рішення для підвищення енергоефективності будівель за рахунок одночасного утеплення фасадів та модернізації системи центрального опалення.

Аналіз енергетичної ефективності конструктивних матеріалів для додаткової теплової ізоляції стін цегляних, панельних та крупноблочних житлових будівель показаний у [3].

Порівняння теплофізичних властивостей мінеральної вати та пінополістиролу, зміна питомих тепловтрат приміщення у разі утеплення окремої кімнати, розглянуто в [4]; втім, невисвітленим залишився вплив термомодернізації всіх інших складових огорожувальних конструкцій.

У роботі [5] запропоновано метод поліоптимального визначення варіанту термомодернізації будівлі за двома критеріями – загальної вартості термомодернізації та енергетичного ефекту, проте, неврахованою залишилася низка важливих показників, наприклад, – питомих викидів парникових газів CO₂.

Дослідження у роботі [6] присвячені аналізу варіантів термомодернізації реального житлового будинку з точки зору оптимізації регулювання енергоспоживання, – визначено оптимальну товщину ізоляції стін та даху за показником чистої теперішньої вартості (NPV). Втім, технічні аспекти термомодернізації в роботі [6] взагалі не розглянуто.

У [7] виявлено суперечності в черговості впровадження енергоефективних заходів при їхньому ранжуванні за різними критеріями. Доведено, що ранжування заходів треба проводити за сукупністю техніко-економічних критеріїв із використанням методу експертних оцінок.

Аналізування джерел [2-7] показало їхню локальну спрямованість і підтвердило необхідність подальшого дослідження питань щодо комплексної термомодернізації огорожувальних конструкцій та диференціального впливу кожного окремого заходу на теплофізичні та енергетичні показники будівель. Це дозволить обґрунтовувати оптимальний перелік впроваджуваних заходів в умовах обмеженого фінансування для забезпечення житлових норм та класу енергетичної ефективності "С" і вищого.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження варіантів термомодернізації огорожувальних конструкцій з обґрунтуванням оптимального складу енергоощадних заходів для досягнення максимальної енергоефективності будівель за мінімального фінансування.

Виклад основного матеріалу. Об'єктом дослідження обрано типову 9-поверхову 4-під'їзду блочну житлову будівлю з неопалюваними горищем та технічним підпіллям. Прямокутна будівля зорієнтована фасадами на північ та південь. Геометричні параметри будівлі: загальна площа – 8626,7 м², загальний об'єм – 38160 м³, опалювальна площа – $A_f = 8363,9$ м², опалювальний об'єм – 25091,6 м³.

Теплофізичні параметри будівлі показано в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики огорожувальних конструкцій будівлі

Вид огорожувальної конструкції	Опір теплопередачі, (м ² ·К)/Вт		Площа A , м ²
	існуюче значення	мінімальні вимоги	
Зовнішні стіни	1,103	3,3	4616,4
Суміщені перекриття	0,488	6	112,0
Перекриття неопалюваного горища	0,726	4,95	1011
Перекриття неопалюваного підвалу	1,47	3,75	1060
Вікна	0,408	0,75	1620,5
Зовнішні двері	0,217	0,6	29,94

Джерело: розроблено авторами

Технічний стан огорожувальних конструкцій: зовнішні стіни будівлі виконані з керамзитобетонних блоків завтовшки 430 мм; загальна площа вікон становить 24 % від площі фасаду. Частина вікон: дерев'яні (16 %), ПВХ 1-камерні і 2-камерні – по 42 %. Зовнішні входні двері – металеві, утеплені, тамбуровані.

З табл. 1 видно, що зведений опір теплопередачі елементів огорожувальних конструкцій не відповідає мінімальним вимогам.

Аналізування результатів утеплення непрозорих огорожувальних конструкцій.

Розрахунки термічного опору стін фасадів будівлі виконано для варіантів утеплення завтовшки 0,05; 0,1; 0,15 та 0,2 м за незмінних значень термоопорів інших елементів:

– плитами мінеральної вати на основі базальтового волокна густиною: $\rho_0=75$; 100; 125 та 150 кг/м³;

– плитами зі спіненого пінополістиролу густиною: $\rho_0=15$; 25; 35; 50 кг/м³;

– плитами з екструдованого пінополістиролу густиною: $\rho_0=30$ та 35 кг/м³.

Опір теплопередачі $R_{\Sigma HP}$ через елемент оболонки будівлі становить:

$$R_{\Sigma HP} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{n=1}^N \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (1)$$

де α_B, α_3 – коефіцієнти тепловіддачі з внутрішньої та зовнішньої сторін стіни;

δ_k – товщина n -го шару, м;

λ_k – теплопровідність n -го шару, Вт/(м·К).

Тоді, відповідно до (1), зведений опір теплопередачі крізь стіну із шаром утеплювача з мінеральної вати на основі базальтового волокна густиною $\rho_0=75$ кг/м³ завтовшки $\delta=0,05$ м становитиме $R_{\Sigma HP} = 2,028$ м²·К/Вт. У розрахунках прийнято: $\delta_1 = 0,4$ м – товщина керамзитобетону теплопровідністю $\lambda_1 = 0,41$ Вт/(м·К); $\delta_2 = 0,03$ м – товщина цементно-піщаної штукатурки з $\lambda_2 = 0,87$ Вт/(м·К); $\delta_3 = 0,05$ м – товщина шару утеплювача з мінеральної вати теплопровідністю $\lambda_3 = 0,047$ Вт/(м·К).

Результати розрахунків за (1) для інших типів утеплювача показано на рис. 1-3 (пунктиром позначено нормативний рівень опору R_{HP}).

Цікаво, що збільшення густини утеплювача впливає на термічний опір стін по різному – густина мінеральної вати на основі базальтового волокна та екструдованого пінополістиролу впливають протилежним чином до впливу спіненого пінополістиролу; тобто утеплювач з мінеральної вати або екструдованого пінополістиролу потрібно обирати з найменшою густиною ρ_0 , натомість, утеплювач зі спіненого пінополістиролу – з якнайбільшою ρ_0 .

Збільшення товщини шару утеплювача очікувано підвищує термічний опір стін, – товщина у 0,15 м гарантовано забезпечить нормативне значення термічного опору стін $R_{HP} \geq 3,3$ м²·К/Вт [1] за будь-якого матеріалу утеплювача (рис. 1-3).

Необхідно наголосити на проблемі, яку створює "клаптикове" утеплення окремих квартир житлових будівель, причому, переважну більшість його здійснюють утеплювачем завтовшки 0,05...0,1 м, що не забезпечує нормативного значення термічного опору стін, але створює «містки холоду», які внаслідок перепаду температур призводять до тріщин в конструкціях та викликають утворення конденсату.

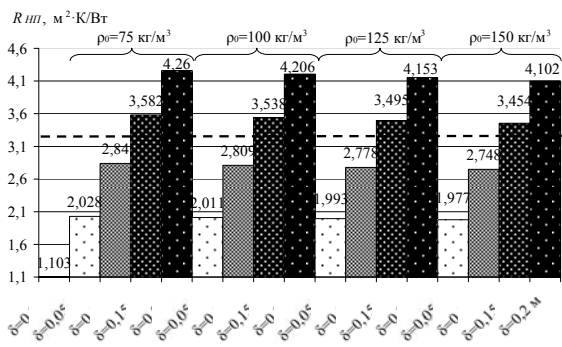


Рисунок 1 – Термічний опір стін для варіантів утеплення плитами мінеральної вати на основі базальтового волокна з $\rho_0=75; 100; 125; 150$ кг/м³ та $\delta=0,05, 0,1, 0,15$ та $0,2$ м

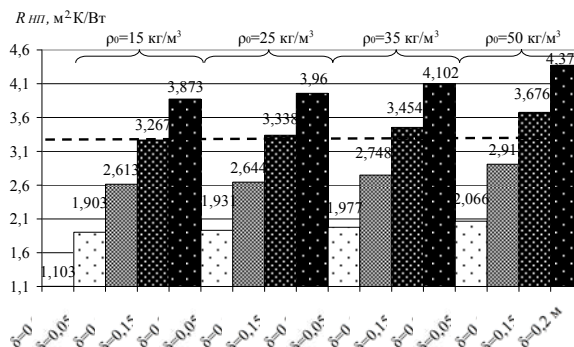


Рисунок 2 – Термічний опір стін для варіантів утеплення плитами зі спіненого пінополістиролу з $\rho_0=15; 25; 35; 50$ кг/м³ та $\delta= 0,05, 0,1, 0,15$ та $0,2$ м

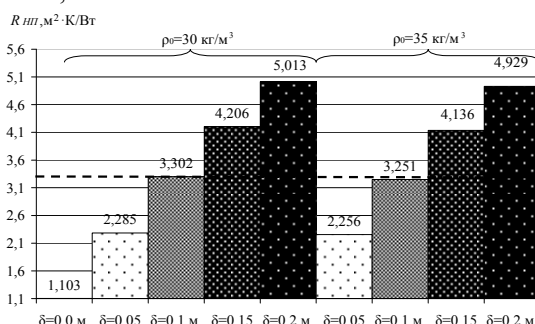


Рисунок 3 – Термічний опір стін для варіантів утеплення плитами з екструдованого пінополістиролу з густиною $\rho_0=30$ та 35 кг/м³ та завтовшки $0,05, 0,1, 0,15$ та $0,2$ м

Джерело: розроблено авторами

До показників енергетичної ефективності будівлі належать: питоме енергоспоживання (EP) при опаленні, охолодженні, постачанні гарячої води, освітленні, вентиляції, первинна енергія та викиди парникових газів. Найбільш інтегральним енергетичним показником є питома енергопотреба (EA) на опалення, охолодження, та постачання гарячої води, тому, для порівняння обраних варіантів утеплення було розраховано EP та EA , кВт·год/м²:

$$EP = EP_{H.use} + EP_{C.use} + EP_{DHW.use}, \tag{2}$$

де $EP_{H.use}$ – питоме енергоспоживання при опаленні;

$EP_{C.use}$ – при охолодженні;

$EP_{DHW.use}$ – на гаряче водопостачання.

Графіки EP для 11 різних варіантів утеплення стін, за незмінного стану інших елементів огорожувальних конструкцій показані на рис. 4. Значення EP для різних типів теплоізоляції вишикувано по мірі їх зменшення.

Графік енергоспоживання EP (1) пролягає вище за енергопотребу EA (2) на величину тепловтрат ΔE : $EP = EA + \Delta E$.

Видно, що найбільш ефективними є утеплення: зі спіненого пінополістиролу завтовшки $\delta=0,15$ м з максимальною $\rho_0=50$ кг/м³, з мінеральної вати $\delta=0,15$ м з мінімальною $\rho_0=75$ кг/м³; або екструдованого пінополістиролу $\delta=0,1$ м з $\rho_0= 30$ кг/м³.

Характерною особливістю теплоізоляційних матеріалів є відносна близькість значень опорів теплопередачі для різних матеріалів та їх густин за однакової товщини. Наприклад, мінеральна вата з ρ_0 більшою на 77 % за ρ_0 спіненого пінополістиролу має однакові з ним термічні властивості. У всіх випадках мінімальна товщина шару

утеплювача має бути $\delta \geq 0,15$ м, і лише екструдований пінополістирол $\rho_0=30$ кг/м³ дозволяє використовувати $\delta = 0,1$ м.

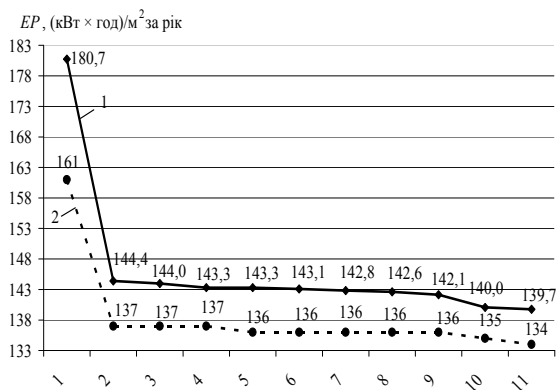


Рисунок 4 – Зміна EP (крива 1) та EA (2) від поточного стану стін будівлі: 1 – початковий стан; 2, 3, 4, 9 – утеплення шаром спіненого пінополістиролу завтовшки $\delta=0,15$ м відповідно з густинами 15; 25; 35 та 50 кг/м³; 5, 6, 7, 8 – утеплення шаром мінеральної вати $\delta=0,15$ м з густинами 150; 125; 100; 75 кг/м³; 10 – утеплюючий шар з екструдованого пінополістиролу $\delta=0,1$ м густиною 30 кг/м³; 11 – $\delta=0,15$ м густиною 35 кг/м³

Джерело: розроблено авторами

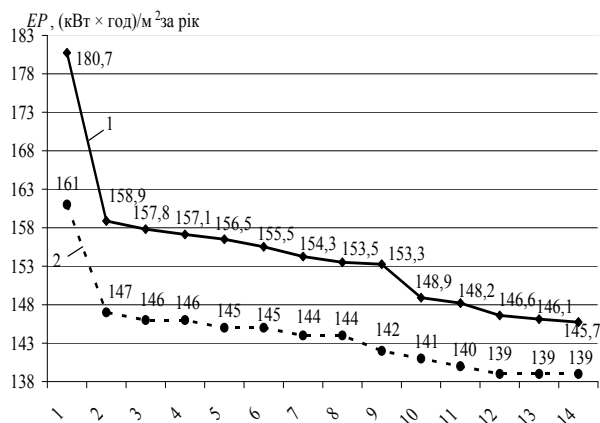


Рисунок 5 – Зміна EP (крива 1) та EA (2) від варіантів вікон: 1 – початковий стан; для двокамерних ПВХ типу: 2 – 4М1-12-4М1-12-4і (газ Кг 100%); 6 – 4М1-10-4М1-10-4і (гази Аг 50%, Кг 50%); 7 – таке ж (Аг 75%, Кг 25%); 9 – Аг 100%; 8 – 4і-10-4М1-10-4і (з повітрям); 10 – Аг 25%, Кг 75%; 11 – Аг 50%, Кг 50%; 12 – Аг 75%, Кг 25%; 14 – Аг 100%; 3 – 4М1-10-4М1-10-4К (гази Аг 25%, Кг 75%); 4 – таке ж (Аг 50%, Кг 50%); 5 – Аг 75%, Кг 25%; 13 – Аг 100%

Результати досліджень доводять, що збільшення термічного опору непрозорих огорожувальних конструкцій лише на 1 % (з 3,267 до 3,302 м²·К/Вт) дозволяє зменшити EA будівлі на 14,9-16,8%, а EP – на 20-23%. Завдяки цьому можна стверджувати, що у першу чергу необхідно проводити термомодернізацію стін фасадів будівлі (за умови $K_{\text{скління}} \leq 0,25$).

Аналізування результатів заміни світлопрозорих огорожувальних конструкцій. На разі, близько чверті вікон будівлі (23 %) мають нормативний термічний опір.

Залежність EP для 14 варіантів заміни неенергоефективних вікон показано на рис. 5.

З порівняння варіантів видно, що, найбільш ефективними є двокамерні ПВХ вікна типу: 4М1-10-4М1-10-4К (газ Аг 100%) і 4і-10-4М1-10-4і (Аг 100%); а найгіршим є вікно типу 4М1-12-4М1-12-4і (газ Кг 100%), яке поступається навіть вікну без газонаповнення типу 4і-10-4М1-10-4і (з повітрям), у разі подвійного і-покриття.

Відзначимо, що збільшення термічного опору вікон на 43 % (з 0,77 до 1,35 м²·К/Вт) дозволяє зменшити EA будівлі на 8,7-13,7%, а EP – на 12,1-19,4%.

Аналізування результатів утеплення горищного перекриття. Графіки зміни питомої енергопотребі та енергоспоживання при опаленні, охолодженні та гарячому водопостачанні для 7 варіантів утеплення технічного поверху показано на рис. 6.

Утеплення горищного перекриття дозволяє зменшити EA будівлі на 14,9-16,8%, а EP – на 7,6%. Зазначимо, що вплив теплофізичних властивостей різних утеплювачів нівелюється, а варіювання термічного опору шару утеплювача (від 5,58 до 6,13 м²·К/Вт) не дає очікуваного ефекту. Це обумовлено замалою площею огорожувальної конструкції та низькою часткою у структурі теплових втрат будівлі.

Аналізування результатів утеплення перекриття неопалюваного підвалу.

Результати утеплення перекриття неопалюваного підвалу різними типами утеплювача показані на рис. 7. Збільшення термічного опору утеплення перекриття підвалу дозволяє зменшити EP на 0,1 %. Ефективність всіх варіантів утеплення є практично однаковою, втім, кращим є екструдований пінополістирол з $\rho_0=30 \text{ кг/м}^3$.

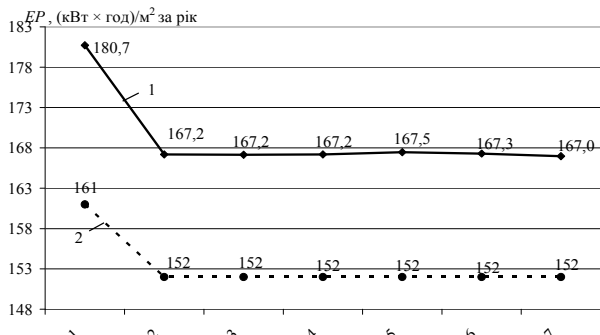


Рисунок 6 – Зміна EP (крива 1) та EA (2) від варіантів утеплення горища: 1 – початковий стан; 2, 4 – мінеральною ватою $\delta=0,25 \text{ м}$ з $\rho_0=30$ та 40 кг/м^3 відповідно; 3 – спіненим пінополістиролом $\delta=0,25 \text{ м}$ та $\rho_0=35 \text{ кг/м}^3$; 5 – спіненим пінополістиролом $\delta=0,2 \text{ м}$ та $\rho_0=50 \text{ кг/м}^3$; 6, 7 – екструдованим пінополістиролом $\delta=0,2 \text{ м}$ з $\rho_0=30$ та 35 кг/м^3

Джерело: розроблено авторами

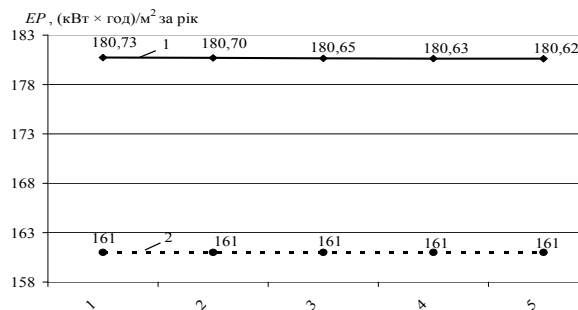


Рисунок 7 – Зміна EP (крива 1) та EA (2) від варіантів утеплення перекриття неопалюваного підвалу: 1 – початковий стан будівлі; для утеплювачів завтовшки $\delta=0,1 \text{ м}$: 2, 3 – з мінеральної вати відповідно з густиною $\rho_0=30$ та 40 кг/м^3 ; 4, 5 – з екструдованого пінополістиролу з $\rho_0=35$ та 30 кг/м^3

Аналізування результатів комплексної термомодернізації будівлі. Вибір оптимальної низки заходів у складі комплексної термомодернізації огорожувальних конструкцій здійснено шляхом їх ранжування із застосуванням методу експертних оцінок. Рейтинг впроваджуваних заходів оцінювали 10 експертів – фахівців з енергоаудиту, які визначали пріоритет заходу за наступними критеріями:

- техніко-енергетичний (вплив на питоме енергоспоживання й клас енергоефективності будівлі);
- фінансовий (вартість впровадження заходу);
- екологічний (безпечність та зменшення емісії CO_2).

Степінь узгодженості думок експертів перевіряли із застосуванням статистичного оброблення результатів. Розраховано коефіцієнти: конкордації W і Пірсона (розрахунковий $\chi^2_{розр} = W \cdot m \cdot (k-1)$, де $m=10$ – кількість експертів, k – число розглянутих варіантів у кожному із заходів (наприклад, для утеплення стін $k=11$) та критичний $\chi^2_{кр} = 16,9$ для 5% рівня значимості та кількості степенів свободи $\gamma = k-1 = 10$), які підтвердили наявність узгодженості думок експертів, оскільки у всіх випадках ($W=0,6444\dots0,9167$, $\chi^2_{розр} = 33,411\dots58,956$) $\chi^2_{розр} > \chi^2_{кр}$.

Отже, для комплексної термомодернізації обрано наступний варіант:

- 1) утеплення стін мінеральною ватою з $\rho_0=75 \text{ кг/м}^3$, $\delta=0,15 \text{ м}$;
- 2) заміна вікон на двокамерні ПВХ типу 4i-10-4M1-10-4i (газ Ar 100%);
- 3) утеплення технічного поверху мінеральною ватою з $\rho_0=40 \text{ кг/м}^3$, $\delta=0,25 \text{ м}$;
- 4) утеплення перекриття неопалюваного підвалу екструдованим пінополістиролом густиною $\rho_0=30 \text{ кг/м}^3$ завтовшки $\delta=0,1 \text{ м}$.

Визначимо теплофізичні та енергетичні показники будівлі до та після комплексної термомодернізації (табл. 2, 3).

Клас енергетичної ефективності будівель визначали за показником загального питомого енергоспоживання при опаленні, охолодженні та постачанні гарячої води ($EP=97,68$ кВт·год / m^2): для класу "D" – $87 < EP_D < 109$ [1].

Таблиця 2 – Теплотехнічні та геометричні характеристики огорожувальних конструкцій до та після комплексної термомодернізації

№ з/п	Вид огорожувальної конструкції	Значення опору теплопередачі, $m^2 \cdot K/Wt$		
		До модернізації	Після термомодернізації	Мінімальні вимоги
1	Зовнішні стіни	1,103	3,57	3,3
2	Горищне перекриття	0,726	5,678	4,95
3	Перекриття підвалу	1,47	4,74	3,75
4	Вікна	0,408	1,112	0,75

Джерело: розроблено автором

Таблиця 3 – Показники енергетичної ефективності будівлі

Назва показника	До термомодернізації	Після термомодернізації
EA на опалення, охолодження, гаряче водопостачання, кВт·год/ m^3 за рік	161	108
EP на опалення, гаряче водопостачання та охолодження будівлі, кВт·год / m^2 за рік	180,73	97,68
Питоме споживання первинної енергії, кВт·год / m^2 за рік	314,54	206,57
Питомі викиди парникових газів, kg/m^2 за рік	62,30	40,70
Клас енергетичної ефективності будівлі	G	D

Джерело: розроблено автором

Встановлено, що запропонований комплекс заходів дозволить зменшити EA на 32,9 %, EP – на 45,9 %, споживання первинної енергії – на 34,3 % та викиди парникових газів – на 34,7 %, підвищивши клас енергетичної ефективності з G до D .

Аналізування різних варіантів термомодернізації огорожувальних конструкцій будівлі (табл. 4) показало, що найбільшого заощадження теплової енергії (51%) можна досягти шляхом саме комплексної термомодернізації. Впровадження енергоефективних вікон (п.3 в табл. 4) дозволить зменшити EP на 19,5 %. Заходи зі збільшення опору теплопередачі стін (п.2 табл. 4) здатні забезпечити до 24 % заощадження тепла. Замалу економію спостерігаємо у разі утеплення перекриття неопалювального горища (8,6 %) та неопалювального підвалу (0,1 %).

Встановлено, що за нормативних значень опорів теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій, можна досягти класу F в результаті утеплення лише стін або ж заміни вікон на енергоефективні, максимально ж досяжного класу D енергоефективності будівлі – тільки у разі комплексної модернізації.

Досягти рекомендованого класу "C" шляхом подальшого збільшення термічних опорів огорожувальних конструкцій не можливо, – для цього необхідно також модернізувати інженерні системи будівлі.

Таблиця 4 – Енергетичні показники будівлі для 6 варіантів термомодернізації

№ з/п	Варіант модернізації огорожувальних конструкцій	Витрати теплоти на опалення будинку, кВт·год	Споживання енергії на опалення/оходження та гарячу воду, кВт·год/м ³	Клас енергоефективності	Питомі викиди парникових газів, кг/м ² за рік	Питоме споживання первинної енергії, кВт·г/м ²
1	Вихідний стан	1 326 274	180,7	G	62,3	314,5
2	Утеплення стін	1 015 291	142,6	F	52,4	265
3	Заміна вікон	1 067 984	148,9	F	54,1	273,2
4	Утеплення горищ	1 212 763	167,2	G	58,8	296,9
5	Утеплення підвалу	1 325 340	180,6	G	62,3	314,5
6	Комплексна термомодернізація будівлі	647 950	97,7	D	40,7	206,6

Джерело: розроблено автором

Висновки.

1. Збільшення густини утеплюючих матеріалів впливає на термічний опір стін по різному – густина мінеральної вати на основі базальтового волокна та екструдованого пінополістиролу впливає протилежно до спіненого пінополістиролу, тобто утеплювач з мінеральної вати або екструдованого пінополістиролу потрібно обирати з найменшою густиною, натомість, утеплювач зі спіненого пінополістиролу – з якнайбільшою.

2. Поелементне аналізування складових огорожувальних конструкцій показало, що у разі окремого впровадження заходів можна зменшити витрати теплової енергії на 0,07...23 %, причому збільшення термічного опору стін на 1 % дозволяє зменшити енергоспоживання на 20...23%. Тому в пріоритеті є термомодернізація саме стін фасадів будівель (за умови, що коефіцієнт скління $K \leq 0,25$).

3. Обґрунтовано оптимальну низку заходів з комплексної термомодернізації огорожувальних конструкцій будівлі з використанням методу експертних оцінок за техніко-енергетичним, фінансовим та екологічним критеріями. Розрахунки підтвердили, що комплексна термомодернізація дозволить зменшити значення питомої енергопотребності та питомих викидів парникових газів у 1,5 рази, питомого споживання теплової енергії – у 1,9 рази та підвищити клас енергоефективності будівлі з G до D.

4. Встановлено, що нормативні значення опорів теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій максимально забезпечують лише клас "D" енергоефективності будівлі. Досягти рекомендованого класу "C" та вищого шляхом подальшого збільшення термічних опорів огорожувальних конструкцій не можливо, – необхідно модернізувати також інженерні системи будівлі.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2016-07-08]. Київ, 2016. 30 с. (Національний стандарт України).
2. Фаренюк Г.Г., Філоненко О. І., Олексієнко О. Б., Лещенко М. В. Особливості комплексної термомодернізації громадських будівель. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2013. Вип. 49. С. 232 – 238.
3. Yeromin A., Kolosov A. Modeling of energy efficient solutions regarding the heating system and the facade heat insulation in the implementation of thermomodernization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1, No. 8 (91). P. 49–57. DOI:10.15587/1729–4061.2018.123021

4. Фош А.В. Термомодернізація будівель – ресурс енергозбереження в Україні. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. Вип. 65, С. 137 – 141.
5. Zender-Swiercz E., Piotrowski J. Thermomodernization a building and its impact on the indoor microclimate. Structure and Environment: Architecture. *Civil Engineering, Environmental Engineering and Energy*. 2013. Vol. 5, No. 3. P. 37–40.
6. Weglarz A., Gilewski P. A Method of Evaluation of Polioptimal Thermomodernization Schemes of Buildings. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 153. P. 862–865. DOI:10.1016/j.proeng.2016.08.194
7. Плешков П.Г., Серебренников С.В., Петрова К.Г., Савеленко І.В., Сіріков О.І. Проблеми визначення ефективності та ранжування енергоощадних заходів на об'єктах бюджетної сфери. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки: зб.наук. пр.* 2019. Вип. 1 (32). С. 166 –172.

References

1. *DBN V.2.6-31:2016. Teplova izoliatsiia budivel*. [National Standard 2.6–31:2016. thermal insulation of buildings]. Kyiv, Minregion Ukrai'ny, 2016. 30 p. [in Ukrainian].
2. Farenjuk, H.H., Filonenko, O.I., Oleksienko, O.B. & Leshchenko, M.V. (2013). Osoblyvosti kompleksnoi termomodernizatsii hromadskykh budivel [Features of complex thermo-modernization of public buildings]. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury - Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture Collection of Scientific Works*, 49, 232–238. [in Ukrainian].
3. Yeromin, A. & Kolosov, A. (2018). Modeling of energy efficient solutions regarding the heating system and the facade heat insulation in the implementation of thermomodernization. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (8(91)), 49–57. doi:10.15587/1729–4061.2018.123021 [in English].
4. Foshch, A.V. (2016). Termomodernizatsiia budivel – resurs enerhozberezhennia v Ukraini [Thermal modernization of buildings is a resource of energy saving in Ukraine]. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury - Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture Collection of Scientific Works*, 65, 137–141. [in Ukrainian].
5. Zender-Swiercz, E., Piotrowski, J. (2013). Thermomodernization a building and its impact on the indoor microclimate. Structure and Environment: Architecture. *Civil Engineering. Environmental Engineering and Energy*. 5, 3, 37-40. [in Ukrainian].
6. Weglarz, A. & Gilewski, P. A (2016). Method of Evaluation of Polioptimal Thermomodernization Schemes of Buildings. *Procedia Engineering*, 53, 862–865. doi:10.1016/j.proeng.2016.08.194 [in English].
7. Plieshkov, P.G., Serebrennikov, S.V., Petrova, K.G. & Savelenko, I.V. (2019). Problemy vyznachennia efektyvnosti ta ranzhuvannia enerhooshchadnykh zakhodiv na ob'iektakh biudzhethnoi sfery [Problems of determining the efficiency and ranking of energy-saving measures at the objects of the budget sphere]. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky- Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 1 (32), 166-172. [in Ukrainian].

Ivan Savelenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Kateryna Petrova**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Sergiy Serebrennikov**, Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Sirikov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Shaping up Thermophysical and Energy Characteristics of Buildings During Thermal Modernization of Enclosing Structures

The purpose of the work is to study of options for thermal modernization of enclosing structures with a justification of the optimal composition of energy-saving measures to achieve maximum energy efficiency of buildings. Ukraine's energy balance shows that more than 30% of the total energy is consumed by the residential sector, of which up to 80% goes to heating. This is due to the low level of energy efficiency of the enclosing structures of residential buildings, as well as the unsatisfactory technical condition of utilities, due to physical wear and tear and obsolescence. The peculiarities of the influence of the type of thermal insulation materials and their characteristics on the thermal and energy performance of the building are investigated. It was found that the increase in the density of insulation affects the thermal resistance of walls in different ways - the density of mineral wool and extruded polystyrene have the opposite effect of foamed polystyrene, ie insulation of mineral wool or extruded polystyrene should be chosen with the lowest density Element-by-element analysis of the components of enclosing structures proved that their impact differs significantly, in the case of separate implementation of measures can reduce heat consumption by 0.07... 23%, and the priority is to modernize the walls of building facades (provided that the glazing ratio $K \leq 0, 25$).

Measures of complex thermal modernization of enclosing structures are substantiated by the method of expert assessments according to technical-energy, financial and ecological criteria. Calculations confirm that the complex thermal modernization will reduce the value of specific energy consumption and specific greenhouse gas emissions by 1.5 times, specific heat consumption - by 1.9 times, increase the energy efficiency class of the building from G to D.

It is shown that the normative values of heat transfer resistances of external enclosing structures will provide only the class D energy efficiency of the building. It is not possible to achieve the recommended class "C" and higher by further increasing the thermal resistance of the enclosing structures - it is necessary to modernize the engineering systems of the building.

thermal modernization, enclosing constructions, thermophysical indicators, energy efficiency of the building

Одержано (Received) 10.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 23.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

УДК 620.193, 628.312, 622.276.8

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.109-118](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.109-118)

В.М. Сероглазов, асп.

*Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна
e-mail: wladimir.sr.m@gmail.com*

Корозія бетону надводної частини нафтопастки в водному господарстві нафтовидобувного підприємства

Наявність сірководню в водних експлуатаційних середовищах вказує на дуже високу вірогідність розвитку в надводній зволоженій частині споруди біогенної сірчаноокислої агресії – впливу сірчаної кислоти, що утворюють тіонові бактерії. Привабливим середовищем для накопичення сірководню шляхом мікробіологічної сульфатредукції є пластові води на об'єктах нафтовидобутку, особливо на ділянках водного господарства, де відбувається тривале відстоювання. З діяльністю сульфатредуючих бактерій пов'язано близько 80% втрат від корозії нафтопромислового обладнання. Мета роботи – ідентифікація виду й кінетичних показників корозії бетону надводної частини нафтопастки в водному господарстві підприємства з видобутку нафти. В експериментальних дослідженнях вивчали зразки бетону, які відібрали з верхньої надводної частини нафтопасток на досліджуваному об'єкті нафтовидобутку, розташованому в Дніпровсько-Донецькій западині. Результати хімічного дослідження зразків бетону (зменшення рН, накопичення сполук сульфуру та вилучування сполук кальцію) свідчили про те, що бетон уражений біогенною сірчаноокислою агресією. На підставі даних, визначених за допомогою корозиметра бетону, розраховані швидкість мікробіологічної корозії бетону – до 0,08 мм/рік, й глибина дифузії біогенних кислот – до 1,9 мм. Розрахована середньорічна концентрація сірководню в атмосфері, що впливає на бетон становила 3,4 – 5,4 мг/м³, що перевищує ГДК робочої зони в нафто-газовій галузі.

об'єкти нафтовидобутку, водне господарство, бетон, сірководень, біогенна сірчаноокисла агресія, швидкість корозії

Постановка проблеми. Біогенна сірчаноокисла корозія бетону є постійним ризиком для споруд водного господарства, в яких в експлуатаційних середовищах присутній сірководень і його похідні. Ці сполуки утворюються в спорудах, де формуються глибоко анаеробні умови (гравітаційний поділ, трубопроводи з ламінарною течією води), а вода містить органічні сполуки та сульфати [1-7]. Найбільш