

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРЯ

УДК 692.23:699.86

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.137-145](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.137-145)

В.А. Пашинський, проф., д-р техн. наук, **М.В. Пашинський**, канд. техн. наук,
С.О Джирма, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: pva.kntu@gmail.com*

Імовірнісний аналіз теплової надійності вузлів цегляних стін житлових будівель

Обчислені імовірні тривалості стану теплової відмови за критерієм утворення конденсату в характерних вузлах цегляних стін житлових будівель другої половини XX століття. Вузли цегляних стін товщиною 51 см мають недостатній рівень теплової надійності. Рівномірне фасадне утеплення зменшує тривалості теплових відмов трьох вузлів з шести розглянутих до 10 хв/рік і менше. У вузлах примикання бічної та верхньої грані вікна, а також примикання балконної плити тривалість теплових відмов залишається надто великою навіть при виконанні додаткового локального утеплення цих зон.

стіни житлових будівель, теплопровідні включення, конденсат, тривалість теплової відмови

Постановка проблеми. Більшість вузлів огорожувальних конструкцій будівель (кутові з'єднання стін, примикання покрівель і перекриттів, світлопрозорих конструкцій та інші) мають зони підвищеної теплопередачі. При сильному падінні температури атмосферного повітря температура внутрішніх поверхонь огорожень також може опускатися нижче температури точки роси та викликати конденсацію вологи з внутрішнього повітря. Таке явище є тепловою відмовою з досить серйозними наслідками у вигляді пошкоджень внутрішнього оздоблення конструкцій, накопичення вологи в поверхневому шарі огорожень та розвитку грибкових уражень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Норми проектування України [1] передбачають перевірку можливості утворення конденсату на внутрішніх поверхнях огорожувальних конструкцій. Для цього температура внутрішньої поверхні огороження в зоні підвищеної теплопередачі, визначена при дії встановленого нормами [1] розрахункового значення температури зовнішнього повітря, порівнюється з температурою точки роси. Точка роси визначається за нормативними значеннями температури й вологості внутрішнього повітря в приміщенні, які також встановлені в нормах [1]. Така методика розрахунку реалізована в роботах [2, 3, 4], де аналізувалися вузли примикання віконних блоків при різних положеннях вікон у товщі стіни, а також інші типові вузли стін житлових будівель.

Методика норм [1] є досить умовною, оскільки вона не враховує стохастичний характер температури зовнішнього та внутрішнього повітря, а також опір теплопередачі огорожувальної конструкції. Зовсім невелика відмінність температури внутрішньої поверхні стіни у двох практично однакових вузлах, отримана шляхом детермінованого розрахунку за [1], може призвести до прямо протилежних висновків щодо їх експлуатаційної придатності. Більш достовірні результати дає розроблена в [5] методика імовірнісного оцінювання рівня теплової надійності огорожувальних конструкцій, яка врахує випадкову мінливість температур зовнішнього та внутрішнього повітря, температури точки роси, розмірів конструкції та теплових характеристик матеріалів. Ця методика дозволяє оцінити імовірну тривалість дії теплової відмови за

критерієм утворення конденсату як на плоских ділянках огорожень, так і в зонах теплопровідних включень. Отримана тривалість дії теплової відмови дозволяє зробити більш зважені висновки щодо рівня теплової надійності огорожувальної конструкції.

Постановка завдання. Оцінити та порівняти імовірнісні показники теплової надійності характерних вузлів цегляних стін житлових будівель, зведених у другій половині 20-го століття, в проектному стані та після термомодернізації шляхом улаштування додаткового фасадного утеплення.

Конструкції та теплові характеристики вузлів. Для аналізу рівня теплової надійності обрані шість характерних вузлів цегляних стін житлових будівель, які масово зводилися у другій половині 20-го століття:

- вузол 1 – кутове сполучення зовнішніх стін;
- вузол 2 – сполучення зовнішньої та внутрішньої стін;
- вузол 3 – сполучення плити перекриття з зовнішньою стіною;
- вузол 4 – сполучення бічної грані вікна з цегляною стіною;
- вузол 5 – сполучення верхньої грані вікна з цегляною стіною;
- вузол 6 – сполучення залізобетонної балконної плити з стіною.

Схеми розглянутих вузлів у проектному стані наведені на рисунку 1. Згідно з конструкцією типових житлових будинків, розглянуті стіни товщиною 510 мм з повнотілої керамічної цегли із внутрішньою штукатуркою з вапняно-піщаного розчину товщиною 20 мм. Перекриття виконані із збірних залізобетонних плит з круглими пустотами, балконна плита і надвіконні перемички – збірні залізобетонні, віконні блоки – дерев'яні. Теплофізичні характеристики використаних матеріалів прийняті за стандартом [6] для нормального режиму експлуатації. Плоска частина стіни має опір теплопередачі $0,82 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, тобто в три рази менший від сучасних вимог норм [1].

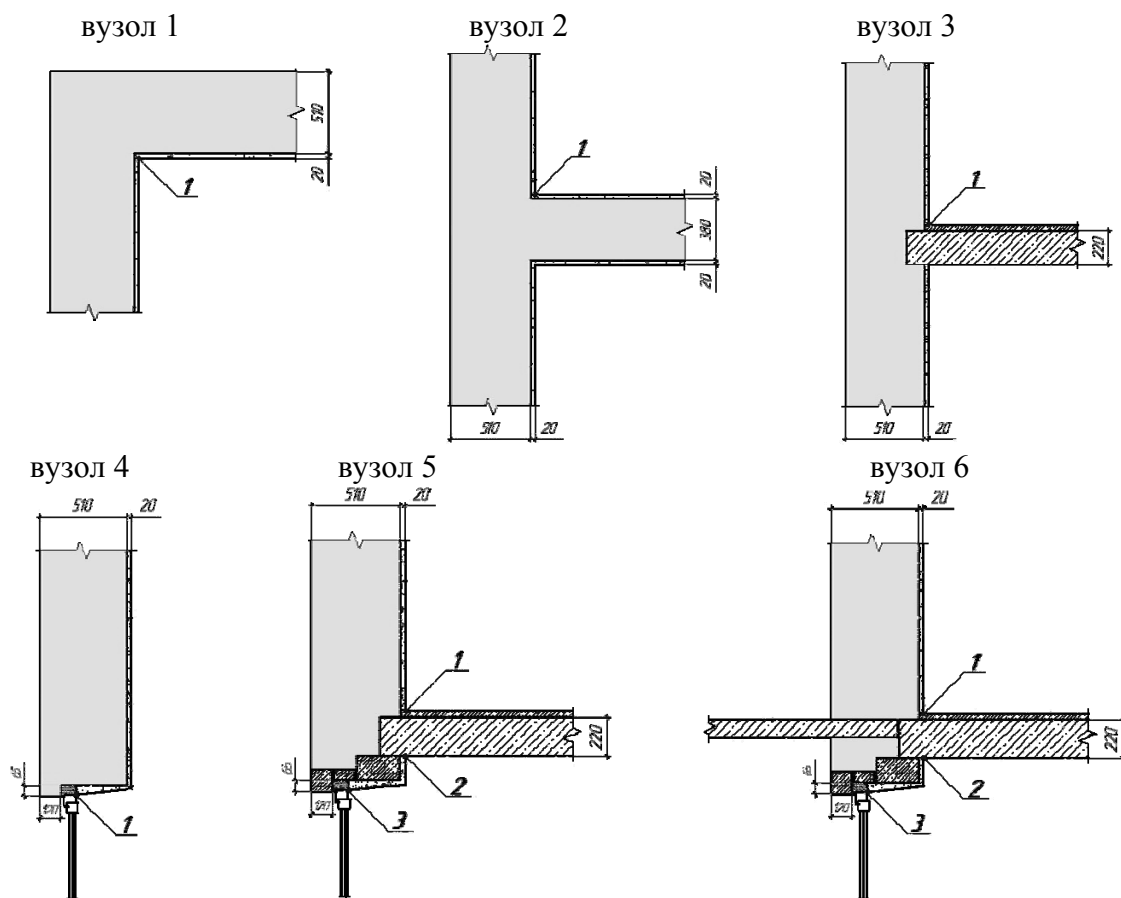


Рисунок 1 – Конструкції вузлів у проектному стані

Джерело: розроблено авторами

Окрім зображених на рисунку 1 вузлів у проектному стані, проаналізовані ті самі вузли стін з рівномірним по поверхні стіни фасадним утепленням, яке складається з 70 мм пінополістирольної або мінераловатної плити та 10 мм зовнішньої штукатурки. Такі вузли нижче позначені індексом "У". Утеплені стіни мають опір теплопередачі $2,70 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, що відповідає вимогам [1] до житлових і громадських будівель з урахуванням допустимого зниження при термомодернізації.

Вузли стін з додатковим локальним утепленням, позначені індексом "Д", зображені на рисунку 2. Вони відрізняються більшою товщиною теплоізоляції в зонах підвищеної теплопередачі, а також додатковим утепленням відкосів і балконних плит.

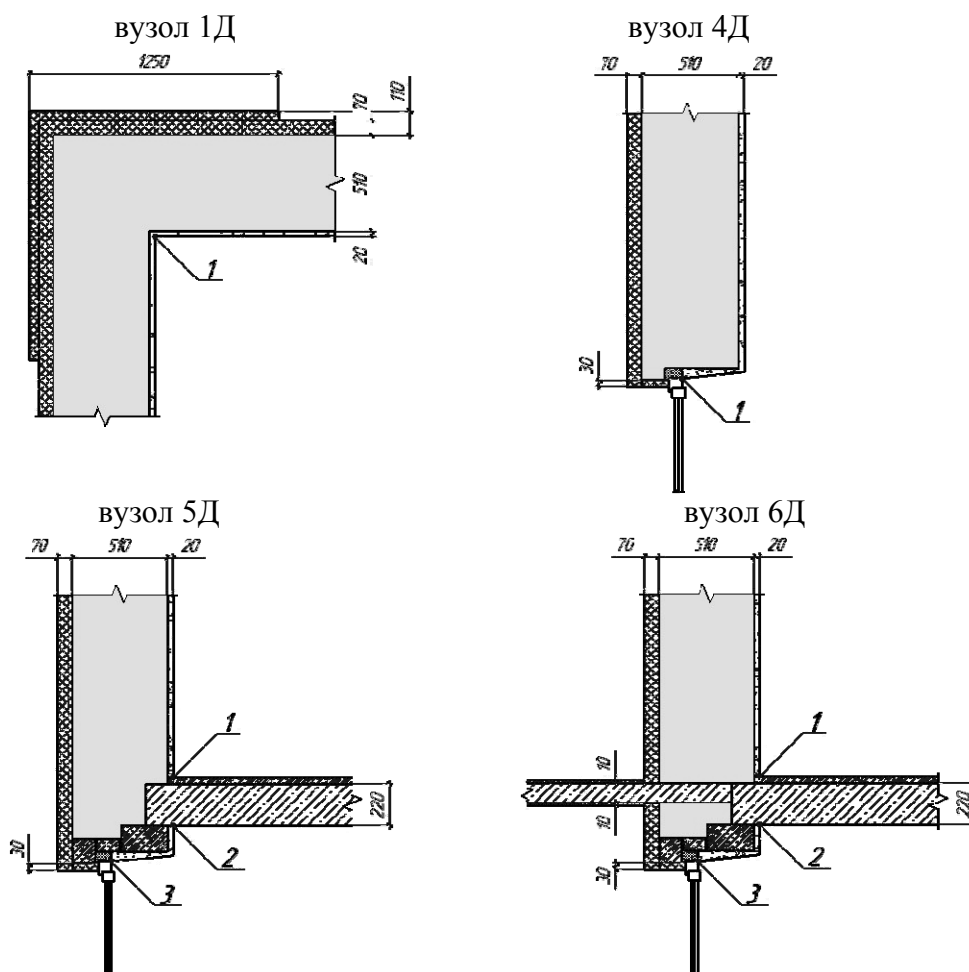


Рисунок 2 – Конструкції вузлів з додатковим локальним утепленням

Джерело: розроблено авторами

Для кожного з 16 описаних вузлів у середовищі програмного комплексу THERM [7] в роботі [3] побудовані двовірні температурні поля, за якими визначені температури в критичних зонах вузлів. Критичними вважаються зони з найнижчими температурами внутрішніх поверхонь вузлів, які позначені цифрами на рисунках 1 і 2. Моделювання процесів теплопередачі в [3] здійснювалося для встановлених за ДБН [1] температури внутрішнього повітря $+20^\circ\text{C}$ і температури зовнішнього повітря -26°C . Це розрахункове значення температури дорівнює температурі найхолоднішої доби із забезпеченістю 0,92 в м. Кропивницький за стандартом [8]. Отримані в результаті моделювання температури в критичних зонах усіх вузлів наведені в таблицях 1, 2 і 3.

Методика визначення показників теплової надійності. Теплова відмова за критерієм утворення конденсату реалізується при пониженні температури внутрішньої

поверхні огорожувальної конструкції нижче точки роси. У якості показників теплової надійності використовуються річна та відносна тривалість стану теплової відмови. Річна тривалість стану теплової відмови виражається в хвилинах на рік. Відносна тривалість дорівнює частці строку експлуатації, протягом якої огорожувальна конструкція перебуває в стані теплової відмови. Цей показник визначається діленням річної тривалості на тривалість року в хвилинах і наближено може вважатися імовірністю виникнення теплової відмови протягом одного року.

Імовірнісна методика визначення тривалості стану теплової відмови за критерієм утворення конденсату розроблена в статті [5]. Для оцінювання показників теплової надійності необхідні такі початкові дані:

- математичне сподівання M_{out} і стандарт S_{out} температури зовнішнього повітря для кожного місяця року;
- математичне сподівання M_{in} і стандарт S_{in} температури внутрішнього повітря, які для житлових приміщень за [5] можна прийняти рівними $M_{in} = +20^{\circ}\text{C}$, $S_{in} = 0,6^{\circ}\text{C}$;
- математичне сподівання M_d й стандарт S_d температури точки роси, які для житлових приміщень прийняті рівними за [5] $M_d = +10,6^{\circ}\text{C}$, $S_d = 1,7^{\circ}\text{C}$;
- математичне сподівання M_R і стандарт S_R опору теплопередачі огороження.

Статистичні характеристики опору теплопередачі плоскої ділянки стіни можна визначити за формулами з [5] з урахуванням випадкових величин коефіцієнтів теплопровідності та товщини шарів стіни. При оцінюванні тривалості теплових відмов у зонах теплопровідних включень враховується умовний опір теплопередачі, розрахункове значення якого для певної критичної зони вузла дорівнює

$$R_{ef} = \frac{\tau_{in} - \tau_{out}}{\alpha_{in} (\tau_{in} - \tau_w)}, \quad (1)$$

де τ_{in} і τ_{out} – розрахункові значення температури внутрішнього та зовнішнього повітря, з урахуванням яких моделювалося температурне поле вузла;

τ_w – отримана при моделюванні температура в критичній зоні вузла;

$\alpha_{in} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни.

Аналіз даних з числових прикладів у роботі [5] показав, що математичне сподівання й стандарт опору теплопередачі цегляних стін з фасадним утепленням можна наближено визначити за формулами:

$$M_R = 1,05 \cdot R_{ef}, \quad S_R = 0,06 \cdot M_R, \quad (2)$$

де R_{ef} – умовний опір теплопередачі для обраної критичної зони вузла.

Сумарна річна та відносна тривалість теплової відмови вузла за критерієм утворення конденсату обчислюється за формулами [5] з підстановкою до них статистичних характеристик (2) умовного опору теплопередачі для обраної критичної зони вузла, статистичних характеристик температури зовнішнього повітря, а також наведених вище інших початкових даних.

Аналіз рівня теплової надійності вузлів. Обчислення за формулами [5] виконані з урахуванням розрахункових значень умовного опору теплопередачі (1) та його статистичних характеристик (2). Статистичні характеристики температури атмосферного повітря у м. Кропивницький прийняті за даними [8, 9]. При оцінюванні тривалості теплових відмов враховані місяці з жовтня по квітень, що відповідає тривалості опалювального періоду. Результати обчислень наведені в таблицях 1, 2 і 3. Таблиці містять такі дані: номер вузла за рисунками 1 чи 2, розрахункове значення температури критичної зони вузла τ_w , умовний опір теплопередачі R_{ef} , річна тривалість теплової відмови Q_{year} у хвилинах та відносна тривалість теплової відмови Q_{rel} . Для

конструктивно складних вузлів № 5 і № 6 розглянуто по три критичні зони, позначені на рисунках 1 і 2.

Таблиця 1 – Показники теплової надійності вузлів у проектному стані

Номер вузла	Критична зона	τ_w	R_{ef}	Тривалість стану відмови	
				річна Q_{year}	відносна Q_{rel}
1	1	7,5	0,423	13167,2	2,51E-02
2	1	12,5	0,705	349,7	6,65E-04
3	1	13,5	0,813	120,2	2,29E-04
4	1	6,5	0,392	20468,7	3,89E-02
5	1	13,8	0,853	85,3	1,62E-04
	2	12,4	0,696	386,6	7,36E-04
	3	3,4	0,319	54133,9	1,03E-01
6	1	12,5	0,705	349,7	6,65E-04
	2	11,8	0,645	687,7	1,31E-03
	3	3,2	0,315	56719,9	1,08E-01

Джерело: розроблено авторами

З таблиці 1 видно, що імовірна тривалість теплової відмови різних вузлів змінюється від 1,4 години на рік до 39,4 доби на рік. Такий діапазон відображає як вкрай нерівномірний рівень теплової надійності різних вузлів, так і явну можливість утворення конденсату на внутрішніх поверхнях стін. Не дивлячись на відсутність встановлених нормами проектування вимог щодо допустимої тривалості теплових відмов огорожувальних конструкцій, отриманий рівень теплової надійності вузлів стін цегляних будівель, зведених за нормами минулого століття, слід вважати явно недостатнім для забезпечення їх експлуатаційної придатності.

Рівномірне утеплення фасаду, як видно з таблиці 2, зменшує імовірну тривалість теплових відмов для більшості критичних зон до 0,3...25,4 хв/рік. Отримана в результаті розрахунку сумарна річна тривалість теплової відмови у 25 хвилин найімовірніше реалізується не одноразово, а буде розділена на декілька випадків пониження температури атмосферного повітря на протязі опалювального періоду. Пониження температури внутрішньої поверхні стіни протягом декількох хвилин навряд чи призведе до реального утворення конденсату, а тому рівень теплової надійності у більшості критичних зон розглянутих вузлів можна вважати цілком прийнятним. Виняток складають чотири зони вузлів 4У, 5У та 6У, для яких тривалість теплових може сягати 9 діб/рік, тобто залишається надто великою.

З метою підвищення рівня теплової надійності проаналізовано вплив додаткового локального утеплення вузлів 1Д, 4Д, 5Д і 6Д згідно зі схемами, наведеними на рисунку 2. У вузлі 1Д (кутове сполучення зовнішніх стін) на ширині 1250 мм від зовнішнього кута стіни товщина утеплювача локально збільшена з 70 мм до 110 мм. Варіантні розрахунки показали, що оптимальна ширина додаткового утеплення кута становить 2...2,5 товщини стіни. У вузлах 4Д і 5Д (сполучення верхньої та бічної грані вікна з цегляною стіною) додатково утеплено зовнішні відкоси вікна пінополістиролом товщиною 30 мм. Ця товщина обмежується шириною виступаючої частини віконної коробки. У вузлі 6Д (сполучення залізобетонної балконної плити зі стіною) додатково до рівномірного утеплення усієї стіни товщиною 70 мм передбачене утеплення зовнішнього відкосу вікна товщиною 30 мм. а також утеплення верхньої та нижньої площини балконної плити товщиною 10 мм. Таке рішення зменшує тепловіддачу через велику поверхню залізобетонної балконної плити, яка має високу теплопровідність. При улаштуванні підлоги з керамічних плиток екструдований

пінополістирол, використаний для утеплення верхньої площини балконної плити, має достатню міцність для сприйняття навантажень від людей і меблів на балконі.

Таблиця 2 – Показники теплової надійності вузлів з рівномірним фасадним утепленням

Номер вузла	Критична зона	τ_w	R_{ef}	Тривалість стану відмови	
				річна Q_{year}	відносна Q_{rel}
1У	1	14,8	1,017	25,4	4,82E-05
2У	1	17,7	2,299	0,5	9,80E-07
3У	1	18,1	2,783	0,3	5,71E-07
4У	1	11,0	0,587	1386,0	2,64E-03
5У	1	17,1	1,823	1,2	2,23E-06
	2	15,6	1,202	9,0	1,71E-05
	3	8,5	0,460	7816,3	1,49E-02
6У	1	15,3	1,125	13,3	2,54E-05
	2	14,3	0,928	47,1	8,96E-05
	3	7,5	0,423	13167,2	2,51E-02

Джерело: розроблено авторами

Дані таблиці 3 вказують на зменшення імовірної тривалості дії теплових відмов для переважної більшості критичних зон до зовсім незначних величин в межах 0,3...5,3 хв/рік. Проблемними залишаються вузли 4Д примикання бічної та 5Д верхньої грані вікна, а також вузол 6Д сполучення залізобетонної балконної плити з цегляною стіною. Імовірні тривалості теплових відмов для критичних зон цих вузлів становлять 2...8 години/рік, що може призвести до випадків утворення конденсату на внутрішніх поверхнях стін. Збільшити товщину утеплення зовнішнього віконного відкосу понад 30 мм, як вказано на рисунку 2, неможливо унаслідок обмеженої ширини віконної коробки. Підвищити рівень теплової надійності вузлів 4Д, 5Д і 6Д можна за рахунок заміни віконних блоків на сучасні металопластикові конструкції або шляхом утеплення внутрішнього віконного відкосу. Виконані розрахунки показали, що заміна наявної штукатурки внутрішнього віконного відкосу на екструдований пінополістирол може істотно поліпшити теплові характеристики вузлів примикання віконних блоків до стін. Це можна виконати у формі спеціального виробу з трапецієвидною формою перерізу, ширина якого дорівнює ширині віконного відкосу.

Таблиця 3 – Показники теплової надійності вузлів з додатковим локальним утепленням

Номер вузла	Критична зона	τ_w	R_{ef}	Тривалість стану відмови	
				річна Q_{year}	відносна Q_{rel}
1Д	1	16,0	1,322	5,3	1,00E-05
4Д	1	13,6	0,826	107,3	2,04E-04
5Д	1	18,0	2,644	0,3	6,53E-07
	2	17,3	1,958	0,9	1,69E-06
	3	13,5	0,813	120,2	2,29E-04
6Д	1	16,5	1,511	2,7	5,08E-06
	2	16,2	1,391	4,0	7,65E-06
	3	12,2	0,678	470,7	8,96E-04

Джерело: розроблено авторами

Наочне відображення впливу фасадного утеплення на рівень теплової надійності вузлів стін наведено на рисунку 3, побудованому за даними таблиць 1, 2 і 3. Діаграма

вказує на систематичне зменшення тривалості теплових відмов у результаті виконання фасадного утеплення. Рівномірне фасадне утеплення вузлів 2, 3, а також зон № 1 і № 2 у вузлі 5 доводить тривалість теплових відмов до цілком прийнятних значень, які не перевищують 10 хв/рік. Разом з тим, у деяких зонах вузлів 4, 5 і 6 навіть додаткове утеплення за схемами з рисунка 2 не забезпечує достатнього рівня теплової надійності. Для забезпечення достатнього рівня теплової надійності цих вузлів необхідно утеплювати внутрішні віконні відкоси або замінювати вікна на сучасні металопластикові віконні блоки, як це вказано вище.

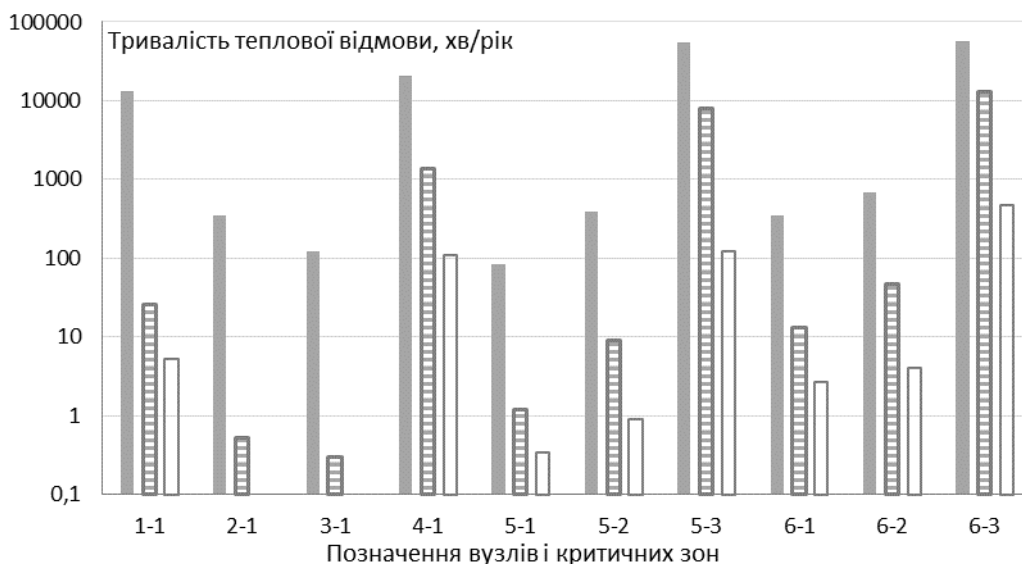


Рисунок 3 – Імовірні тривалості стану теплової відмови в критичних зонах вузлів

Джерело: розроблено авторами

Наведені в останніх стовпцях таблиць 1, 2 і 3 відносні тривалості теплових відмов наближено можна вважати імовірностями виникнення відмови протягом одного року (опалювального сезону). Залежно від класу відповідальності будівлі, норми [10] рекомендують для граничних станів другої групи (за експлуатаційною придатністю) значення імовірності відмови в межах $5 \times 10^{-4} \dots 5 \times 10^{-5}$. З таблиці 1 видно, що майже всі вузли в проектному стані мають значно більші імовірності відмови. При рівномірному фасадному утепленні (табл. 2) лише три зони проаналізованих вузлів не вписуються у вказаний діапазон рекомендованих імовірностей відмови. Додаткове утеплення виявлених критичних зон (табл. 3) приводить усі вузли, окрім 6Д, до рівня рекомендацій норм [10].

Висновки:

1. Раніше розроблена авторами імовірнісна методика оцінювання тривалості теплових відмов огорожувальних конструкцій за критерієм утворення конденсату в зонах підвищеної теплопровідності дозволила адекватно порівняти рівні теплової надійності вузлів цегляних стін житлових будівель у проектному стані та після виконання фасадного утеплення.

2. Вузли цегляних стін товщиною 51 см з опором теплопередачі близько $0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ мають недостатній рівень теплової надійності. Великі тривалості стану теплової відмови можуть призвести до утворення конденсату на внутрішній поверхні стін у зонах підвищеної теплопровідності.

3. Рівномірне фасадне утеплення до опору теплопередачі $2,7 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ дозволяє зменшити тривалості теплових відмов трьох вузлів з шести розглянутих до цілком

прийнятних значень, які не перевищують 10 хвилин протягом року. В окремих зонах трьох інших вузлів (примикання бічної та верхньої грані вікна, примикання залізобетонної балконної плити) тривалість теплових відмов залишається недопустимо великою навіть при виконанні додаткового локального утеплення цих зон.

4. Перспективним рішенням, яке може істотно підвищити рівень теплової надійності стін у зонах примикання віконних та дверних блоків є утеплення внутрішніх відкосів спеціальними виробами з екструдованого пінополістиролу.

5. Результати виконаного аналізу вказують на необхідність обґрунтування та встановлення чітких нормативних вимог до показників теплової надійності за різними критеріями та видами теплових відмов.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-31:2016: Теплова ізоляція будівель . [Чинний від 01-04-2017]. К.: Міністерство будівництва України, 2016. 31 с.
2. Пашинський В.А., Джирма С.О., Пашинський М.В. Теплові характеристики вузлів примикання вікон до цегляних та залізобетонних стін цивільних будівель на території Кіровоградської області . *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Вип. 3(34). 2020. С. 200-209. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).200-209](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).200-209)
3. Пашинський В.А., Настоящий В.А., Плотников О.А. Підвищення енергоефективності існуючих житлових будівель шляхом додаткового фасадного утеплення . *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць*. 2014. Вип. 29. С. 461-467.
4. A Stolarska, J Strzałkowski, Halina Garbalińska. Using CFD software for the evaluation of hygrothermal conditions at wall-window perimeters . *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 415. DOI:10.1088/1757-899X/415/1/012046
5. Kariuk A., Pashynskyi V., Pashynskyi M., Mammadova F. (2022) Methods of Probabilistic Assessment of Building Enclosing Structures Thermal Reliability. In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 181. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_18
6. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. [Чинний від 2014-01-01]. К.: Мінрегіон України, 2014. 51 с.
7. THERM 2.0 Program Description. Berkeley CA 94720 USA, 1998. URL: <https://windows.lbl.gov/sites/default/files/Downloads/therm2.pdf> (дата звернення: 03.05.2022)
8. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Київ, Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. 123 с.
9. Пашинський В.А., Пушкар Н.В., Карюк А.М. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель. Одеса : ОДАБА, 2012. 180 с.
10. ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. К.: Мінрегіонбуд України, 2018. 30 с.

References

1. Teplova izolyatsiya budivel' [Thermal insulation of buildings]. (2016). *DBN V.2.6-31:2016*. Effective from 01-04-2017. Kyiv: Ministry of Construction of Ukraine [in Ukrainian].
2. Pashynskyi, V.A., Dzhyrma, S.O. & Pashynskyi, M.V. (2020). Teplovi kharakterystyky vuzliv prymykannya vikon do tsehlyanykh ta zalizobetonnykh stin tsyvil'nykh budivel' na terytoriyi Kirovohrads'koyi oblasti [Thermal characteristics of window junctions to brick and reinforced concrete walls of civil buildings in the Kirovohrad region]. *Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical sciences. Issue. 3 (34)*, 200-209. DOI: 10.32515/2664-262X.2020.3(34).200-209 [in Ukrainian].
3. Pashynskyi, V.A., Nastoyashchyi, V.A. & Plotnikov, O.A. (2014). Pidvyshchennya enerhoefektyvnosti isnuuyuchykh zhytlovykh budivel' shlyakhom dodatkovoho fasadnoho uteplennya [Improving the energy efficiency of existing residential buildings through additional facade insulation]. *Pidvyshchennya enerhoefektyvnosti isnuuyuchykh zhytlovykh budivel' shliakhom dodatkovoho fasadnoho uteplennia* –

- Resource-saving materials, structures, buildings and structures: Collection of scientific papers, Issue 29*, 461-467. [in Ukrainian].
4. Stolarska, A., Strzałkowski, J. & Garbalińska Halina. (2018). Using CFD software for the evaluation of hygrothermal conditions at wall-window perimeters. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol. 415* [in English].
 5. Kariuk, A., Pashynskyi, V., Pashynskyi, M. & Mammadov, a F. (2022) Methods of Probabilistic Assessment of Building Enclosing Structures Thermal Reliability. *Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 181. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_18
 6. Methods of choosing of insulation material for insulation [Methods of choosing heat-insulating material for building insulation]. (2013). *DSTU B V.2.6-189:2013*. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine [in Ukrainian].
 7. THERM 2.0 Program Description. Berkeley CA 94720 USA, (1998). *windows.lbl.gov*. Retrieved from <https://windows.lbl.gov/sites/default/files/Downloads/therm2.pdf>
 8. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezh. Budivelna klimatolohiia [Protection from dangerous geological processes, harmful operational influences, fire. Construction Climatology.]. (2010). *DSTU-N B V.1.1-27:2010*. Kyiv: Minrehiion Ukrainy [in Ukrainian].
 9. Pashynskyi, V.A., Pushkar, N.V. & Karyuk, A.M. (2012). *Temperaturni vplyvy na ohorodzhuvalni konstruktsiyi budivel [Temperature effects on the enclosing structures of buildings]*. Odesa: ODABA [in Ukrainian].
 10. Systema zabezpechennya nadiynosti ta bezpeky budivel'nykh ob'yektiv. Zahal'ni pryntsypy zabezpechennya nadiynosti ta konstruktyvnoyi bezpeky budivel' i sporud [System for ensuring the reliability and safety of construction objects. General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures]. (2018). *DBN V.1.2-14-2018*. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine [in Ukrainian].

Victor Pashynskyi, Prof., DSc., **Mykola Pashynskyi**, PhD tech. sci., **Stanislav Dzhyrma**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Probabilistic Analysis of Thermal Reliability of Brick Wall Units of Residential Buildings

When the temperature of the inner surface of the enclosing structures falls below the dew point, moisture from the indoor air may condense on it. Thermal characteristics of building materials, outdoor and indoor air temperatures and dew points are random variables or processes. This necessitates a probabilistic assessment of the possibility of thermal failures by the criterion of condensate formation in areas of increased heat transfer of enclosing structures. This work is performed in order to analyze the probabilistic thermal reliability of the characteristic units of brick walls of residential buildings erected in the second half of the 20th century, in the design condition and after thermal modernization by installing additional facade insulation.

To analyze the level of thermal reliability, six characteristic units of brick walls were selected. The nodes were analyzed in the initial state, taking into account the uniform facade insulation, as well as with additional local insulation of areas of increased heat transfer. The calculations were performed according to the previously developed author's method, which is based on estimating the probability of falling of the random temperature of the inner surface of the wall below the random temperature of the dew point. The initial data take into account the statistical characteristics of the following random variables: conditional heat transfer resistance of the wall in the zone of heat conduction, dew point temperature, indoor air temperature, outside air temperature for each month of the heating period. The result of the calculation is the probable annual duration of the state of thermal failure according to the criterion of condensate formation on the inner surface of the walls in the critical areas of the nodes.

It is established that the units of brick walls with a thickness of 51 cm in the design condition have an insufficient level of thermal reliability. Uniform facade insulation allows to reduce the duration of thermal failures of three nodes from the six considered to values not exceeding 10 minutes during the year. In some areas of the other three nodes (adjacency of the side and top faces of the window, adjacency of reinforced concrete balcony slab) the duration of thermal failures remains unacceptably long even when performing additional local insulation of these areas.

walls of residential buildings, heat-conducting inclusions, condensate, thermal failure duration

Одержано (Received) 10.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 19.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022