УДК 624.014:697.112.3 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.160.2016.69985

ІМОВІРНІСТЬ ТЕПЛОВОЇ ВІДМОВИ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ СТАЛЕВИХ ХОЛОДНОФОРМОВАНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА КРИТЕРІЄМ ЗНИЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ТЕМПЕРАТУР

Д-р техн. наук С.Ф. Пічугін, канд. техн. наук В.О. Семко

ВЕРОЯТНОСТЬ ТЕПЛОВОГО ОТКАЗА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТАЛЬНЫХ ХОЛОДНОФОРМОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО КРИТЕРИЮ СНИЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР

Д-р техн. наук С.Ф. Пичугин, канд. техн. наук В.А. Семко

THE PROBABILITY OF THE THERMAL FAILURE OF BUILDING ENVELOPES MADE OF COLD-FORMED STEEL ELEMENTS BASED ON LOCAL TEMPERATURE DECREASE CRITERION

Doct. of techn. science S. Pichugin, candid. of techn. science V. Semko

Розглядається питання безвідмовної роботи огороджувальної конструкції із сталевих холодноформованих елементів. Як можливу відмову розглянуто випадок зниження температури на поверхні огороджувальної конструкції нижче температури конденсації водяної пари. Матеріал статті містить не тільки теоретичні положення, але і числовий приклад визначення імовірності відмови вузла стінової конструкції.

Ключові слова: *надійність, сталеві холодноформовані конструкції, теплова відмова, огороджувальна конструкція, конденсація, температура.*

Рассматривается вопрос безотказной работы ограждающей конструкции из стальных холодноформованных элементов. В качестве возможного отказа рассмотрен случай снижений температуры на поверхности ограждающей конструкции ниже температуры конденсации водяного пара. Материал статьи содержит не только теоретические выкладки, но и пример определения вероятности отказа узла стеновой конструкции.

Ключевые слова: *надежность, стальные холодноформованные конструкции, тепловой отказ, ограждающая конструкция, конденсация, температура.*

The article is targeted to solving the problem of trouble-free operation of the building envelopes. Decreasing local temperature to the condensation temperature of water vapour is the one of the form of failure of the building envelope. The result is the wet building structures. For determining probability of this event, it was proposed this method. In the first place, the researcher must determine the functional dependence of linear heat-transfer coefficient from different parameters. In the second place, the researcher must determine the function of mathematical expectation and standard of the linear heat-transfer coefficient in linearization technique. Further, by building physics formulas we must determine temperature function on the interior surface of the wall (or the roof) in the place with thermal inclusion. Just the way we can determine the function of mathematical expectation and standard of the interior surface temperature in linearization technique. The probability of the failure of the building envelope joint can be found with reliability index. The example of the estimation of the probability of the failure of the joint of wall structure made of cold-formed steel elements considered in this paper.

Keywords: *reliability, cold-formed steel structures, thermal failure, building envelope, condensation, temperature.*

Вступ. Збільшення вартості енергетичних ресурсів призводить до підвищення вимог до енергетичної ефективності будинків. Зменшення витрат на опалювання будинків можливе за рахунок використання як відновних джерел енергопостачання, так і підвищення вимог до огороджувальних конструкцій. За останні 10 років у країні двічі було підвищено нормативи до огороджувальних конструкцій [1, 2]. При цьому кількість температурних зон зменшилась з 4 до 2, отже, вимоги до теплової надійності будинків однакові як на півночі Сумської області, так і на півдні Кіровоградської. Ці фактори ставлять перед дослідниками питання про більш детальну кількісну оцінку теплової надійності будівель.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Теплова відмова огороджувальної конструкції, на відміну від відмови несучої конструкції, не призводить до людських жертв, а в першу чергу призводить до економічних втрат – таких як збільшення використання енергоресурсів, витрат на ліквідацію наслідків локальних замочувань, боротьби із грибками та цвіллю. В деяких випадках, при малій імовірності події, можливо, значно дешевше ліквідувати потенційні наслідки від теплової відмови, ніж проектувати та влаштовувати засоби з її попередження. Для каркасних будівель, огороджувальні конструкції яких мають багато температурних включень, актуальним питанням є визначення імовірності відмови за критерієм зниження локальних значень температур внутрішньої поверхні до температури конденсації пари повітря.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішення проблеми оцінки теплової надійності огороджувальних конструкцій в Україні розпочав Фаренюк Г.Г. [10], який запропонував чотири стани теплових відмов. У подальшому ці дослідження продовжив Пашинський В.А., яким було запропоновано методи для числової оцінки імовірності відмови однорідних огороджувальних конструкцій за критеріями: недосягнення достатнього рівня опору теплопередачі через мінливість геометричних і теплофізичних характеристик матеріалів огороджувальних конструкцій; перевищення максимального допустимого значення щільності теплового потоку через огороджувальну конструкцію [4]. Для використання запропонованого Пашинським В.А. методу одними із вихідних даних є результати досліджень мінливості теплотехнічних характеристик будівельних матеріалів. Слід зазначити, що такі дослідження в Україні проводяться в обмеженому обсязі. Зокрема відомі дослідження, проведені в лабораторії Полтавського національного технічного університету [5]. Також відомі результати литовських [7] та португальських дослідників [8], при цьому остання праця є доволі цінною, адже побудована на результатах випробувань декількох тисяч зразків будівельних матеріалів.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою даної роботи є розроблення методики визначення імовірності теплової відмови огороджувальних конструкцій із сталевих холодноформованих елементів за критерієм зниження локальних значень температур у місцях теплопровідних включень.

Основна частина дослідження. Одним із критеріїв відмови огороджувальних конструкцій є зниження локального значення температури в зонах теплопровідних включень до температури конденсації пари повітря. При цьому необхідно використовувати розрахункове значення температури зовнішнього повітря (далі $t_з^{ДБН}$), згідно з додатком Ж ДБН [2]. Дані

значення температур сильно відрізняються від розрахункових значень температур, наданих ДСТУ «Будівельна кліматологія» [3].

Для подальшої оцінки імовірності безвідмовної роботи огороджувальних конструкцій із теплопровідними включеннями необхідно встановити імовірність реалізації розрахункових температур із ДБН [2] протягом найбільш холодної доби, температури найбільш холодної п'ятиденки та середньомісячної температури зимових місяців.

Оцінювання імовірності реалізації температури $t_з^{ДБН}$ протягом доби виконаємо із припущення, що розподіл температур найбільш холодної доби описується нормальним законом. Маючи значення температур із забезпеченістю 0,92 та 0,98, можна отримати значення математичного сподівання та значення стандарту розподілу зовнішньої температури за такими формулами:

$$S_{t_з} = \frac{t_3^{0,92} - t_3^{0,98}}{0,655}, \qquad (1)$$

$$M_{t_з} = t_3^{0,98} + 2,06 S_{t_з} \quad \textit{або} \qquad (2)$$

$$M_{t_з} = t_3^{0,92} + 1,405 S_{t_з}, \qquad (2,а)$$

де $t_з^{0,92}$ та $t_з^{0,98}$ – температури зовнішнього повітря $t_з$ із забезпеченістю 0,92 та 0,98 для відповідного міста, отримані за таблицею 2 [3] або за формулою (5.8) [11] для періоду повторюваності 12,5 та 50 років відповідно.

Оскільки формула (5.8) [11] дає дещо нижчі значення розрахункових температур, ніж подані в ДСТУ [3], то для подальших досліджень використаємо саме цю формулу.

Імовірність перевищення розрахункової температури $t_з^{ДБН}$ знайдемо через характеристику безпеки β, що буде дорівнювати

$$\beta = \frac{t_3^{ДБН} - M_{t_з}}{S_{t_з}}. \qquad (3)$$

Імовірність того, що зовнішня температура повітря буде нижчою за розрахункову температуру $t_з^{ДБН}$, буде дорівнювати

$$Q = 0,5 - \Phi(\beta), \qquad (4)$$

де $\Phi(\beta)$ – значення нормованої функції Лапласа відповідно до величин β.

Розрахунки виконаємо для 25 обласних центрів України. Результати оцінки імовірності перевищення розрахункової температури $t_з^{ДБН}$ протягом одноденного терміну подано в табл. 1. Із показника імовірності Q_1 видно, що для північно-східних обласних центрів імовірність того, що розрахункова температура найбільш холодної доби буде більшою за розрахункову $t_з^{ДБН}$, складає 0,492, для центральних регіонів України 0,319-0,428, для південних обласних центрів (окрім Сімферополя) – 0,252, а для західних – 0,171. У цілому ймовірність того, що температура найбільш холодної доби буде більша за розрахункову $t_з^{ДБН}$, досить висока, і лише для Криму дана імовірність становить 0,04 і може бути оцінена як малоімовірна.

За аналогічним принципом виконаємо оцінку імовірності перевищення розрахункової температури $t_з^{ДБН}$ протягом п'ятиденного терміну (Q_5) (табл. 2). Характер розподілу величини Q_5 за регіонами України залишився незмінним, але суттєво змінились значення імовірності Q_5. Так, для шести обласних центрів (Полтава, Суми, Харків, Чернігів, Луганськ, Запоріжжя) вона перебуває на доволі високому рівні в межах 0,173-0,218. Для регіонів центральної та південної України імовірність перевищення розрахункової температури $t_з^{ДБН}$ протягом п'ятиденного терміну становить 0,077-0,109, що є невисоким значенням, а для території західної України та АР Крим імовірність Q_5 перебуває в малоймовірних межах 0,043 (для заходу) та 0,006 (для Криму).

Оцінку імовірності перевищення розрахункової температури $t_з^{ДБН}$ над середньою температурою зимових місяців виконаємо за умов, що розподіл середньомісячних температур зимових місяців описується нормальним законом. Значення математичного сподівання середньомісячних температур візьмемо із таблиці 2 [3], значення стандарту визначимо за формулою (3.3) [11], а коефіцієнт безпеки β – за формулою (3). Імовірність перевищення розрахункової температури $t_з^{ДБН}$ над середньою температурою грудня перебуває в межах від $1{,}1\times10^{-3}$ до $2{,}5\times10^{-5}$; січня – від $1{,}1\times10^{-3}$ до $3{,}7\times10^{-4}$; лютого – від $1{,}2\times10^{-3}$ до $1{,}8\times10^{-4}$.

З результатів розрахунку видно, що імовірність настання середньомісячної температури із значенням, більшим $t_з^{ДБН}$, найбільша для січня та лютого і найменша для грудня. В той же час найбільше значення імовірності події становить 0,009 для м. Суми в січні. Значення для інших міст у декілька разів менші. Найменше значення для січня становить 0,00037 для м. Сімферополь.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз імовірності перевищення розрахункової температури за ДБН [2] температурою найбільш холодної доби

№ з/п	Місто	Розрахункові температури зовнішнього повітря, °С			$M(t_з)$, °C	$S(t_з)$, °C	β	Q_1
		за ДБН [2]	найбільш холодної доби із забезпеченістю					
			0,98	0,92				
1	Чернігів	-22	-30,47	-27,75	-21,9204	4,15	0,02	0,492
	Харків	-22	-30,47	-27,75	-21,9204	4,15	0,02	0,492
	Суми	-22	-30,47	-27,75	-21,9204	4,15	0,02	0,492
	Полтава	-22	-30,47	-27,75	-21,9204	4,15	0,02	0,492
	Луганськ	-22	-30,47	-27,75	-21,9204	4,15	0,02	0,492
2	Запоріжжя	-19	-26,32	-23,77	-18,2975	3,89	0,18	0,428
3	Черкаси	-22	-28,39	-25,76	-20,109	4,02	0,47	0,319
	Хмельницький	-22	-28,39	-25,76	-20,109	4,02	0,47	0,319
	Київ	-22	-28,39	-25,76	-20,109	4,02	0,47	0,319
	Житомир	-22	-28,39	-25,76	-20,109	4,02	0,47	0,319
	Донецьк	-22	-28,39	-25,76	-20,109	4,02	0,47	0,319
	Дніпропетровськ	-22	-28,39	-25,76	-20,109	4,02	0,47	0,319
	Вінниця	-22	-28,39	-25,76	-20,109	4,02	0,47	0,319
4	Херсон	-19	-24,24	-21,77	-16,486	3,76	0,67	0,252
	Одеса	-19	-24,24	-21,77	-16,486	3,76	0,67	0,252
	Миколаїв	-19	-24,24	-21,77	-16,486	3,76	0,67	0,252
	Ужгород	-19	-24,24	-21,77	-16,486	3,76	0,67	0,252
	Чернівці	-22	-26,32	-23,77	-18,2975	3,89	0,95	0,171
	Тернопіль	-22	-26,32	-23,77	-18,2975	3,89	0,95	0,171
	Рівне	-22	-26,32	-23,77	-18,2975	3,89	0,95	0,171
	Львів	-22	-26,32	-23,77	-18,2975	3,89	0,95	0,171
	Кіровоград	-22	-26,32	-23,77	-18,2975	3,89	0,95	0,171
	Івано-Франківськ	-22	-26,32	-23,77	-18,2975	3,89	0,95	0,171
	Луцьк	-22	-26,32	-23,77	-18,2975	3,89	0,95	0,171
6	Сімферополь	-19	-20,09	-17,79	-12,863	3,51	1,75	0,040

Результати порівняння трьох різних розподілів температур із розрахунковою температурою зовнішнього повітря $t_з^{ДБН}$ вказує на те, що її реалізація найбільш імовірна для періоду найбільш холодної доби, в той же час імовірність очікування реалізації температури $t_з^{ДБН}$ протягом цілого місця майже неможлива. Для періоду найбільш холодної п'ятиденки для південно-західного регіону України факт перевищення $t_з^{ДБН}$ є також малоймовірним, це у свою чергу може суттєво відбиватись на розрахунках огороджувальних конструкцій із великим значенням теплової інерції.

Таблиця 2

Порівняльний аналіз імовірності перевищення розрахункової температури за ДБН [2] температурою найбільш холодної п'ятиденки

№ з/п	Місто	Розрахункові температури зовнішнього повітря, °С			$M(t_з)$, °С	$S(t_з)$, °С	β	Q_5
		за ДБН [2]	найбільш холодної п'ятиденки із забезпеченістю					
			0,98	0,92				
1	Полтава	-22	-27,31	-24,60	-18,76	4,15	0,78	0,218
	Суми	-22	-27,31	-24,60	-18,76	4,15	0,78	0,218
	Харків	-22	-27,31	-24,60	-18,76	4,15	0,78	0,218
	Чернігів	-22	-27,31	-24,60	-18,76	4,15	0,78	0,218
2	Луганськ	-22	-27,31	-24,24	-17,64	4,70	0,93	0,177
3	Запоріжжя	-19	-23,36	-20,81	-15,34	3,89	0,94	0,173
4	Вінниця	-22	-25,34	-22,70	-17,05	4,02	1,23	0,109
	Дніпропетровськ	-22	-25,34	-22,70	-17,05	4,02	1,23	0,109
	Донецьк	-22	-25,34	-22,70	-17,05	4,02	1,23	0,109
	Житомир	-22	-25,34	-22,70	-17,05	4,02	1,23	0,109
	Київ	-22	-25,34	-22,70	-17,05	4,02	1,23	0,109
	Хмельницький	-22	-25,34	-22,70	-17,05	4,02	1,23	0,109
	Черкаси	-22	-25,34	-22,70	-17,05	4,02	1,23	0,109
5	Ужгород	-19	-21,38	-18,91	-13,62	3,76	1,43	0,077
	Миколаїв	-19	-21,38	-18,91	-13,62	3,76	1,43	0,077
	Одеса	-19	-21,38	-18,91	-13,62	3,76	1,43	0,077
	Херсон	-19	-21,38	-18,91	-13,62	3,76	1,43	0,077
6	Луцьк	-22	-23,36	-20,81	-15,34	3,89	1,71	0,043
	Івано-Франківськ	-22	-23,36	-20,81	-15,34	3,89	1,71	0,043
	Кіровоград	-22	-23,36	-20,81	-15,34	3,89	1,71	0,043
	Львів	-22	-23,36	-20,81	-15,34	3,89	1,71	0,043
	Рівне	-22	-23,36	-20,81	-15,34	3,89	1,71	0,043
	Тернопіль	-22	-23,36	-20,81	-15,34	3,89	1,71	0,043
	Чернівці	-22	-23,36	-20,81	-15,34	3,89	1,71	0,043
7	Сімферополь	-19	-17,42	-15,12	-10,20	3,51	2,51	0,006

Імовірність теплової відмови огороджувальних конструкцій за критерієм зниження локальних значень температур внутрішньої поверхні до температури конденсації пари повітря відбувається за умов виконання нерівності

$$Q = prob\{\tau_в < t_p\} = F_{\tau_в}(t_p)\ . \qquad (5)$$

Основний підхід до вирішення даної задачі буде однаковим для всіх типів огороджувальних конструкцій. Функцію локальної температури внутрішньої поверхні у місці температурного включення визначимо із умов рівності значень густини теплового потоку, що проходить крізь температурне включення та передається від внутрішнього повітря в приміщенні до внутрішньої частини стіни шляхом конвекційного обміну. Густина теплового потоку q між внутрішньою поверхнею стіни та внутрішнім повітрям визначається за формулою

$$q = \alpha_в (t_в - \tau_в), \qquad (6)$$

де $t_в$ – внутрішня температура повітря, ºС;

$\tau_в$ – температура на внутрішній поверхні стіни в місці температурного включення, ºС;

$\alpha_в$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції, Вт/(м^2×К).

У той же час, згідно з формулою (И.6) [2], лінійний коефіцієнт теплопередачі температурного включення визначають за формулою

$$k = \frac{\overline{q}_{тв} \cdot C}{t_в - t_з}, \qquad (7)$$

де $\overline{q}_{тв}$ – середнє значення густини теплового потоку в місці температурного включення, Вт/м^2;

C – ширина температурного включення, м.

Прирівнюючи значення густини теплового потоку з формул (6) та (7), отримаємо функцію локальної температури у місці температурного включення (8):

$$\overline{q}_{тв} = \frac{k \cdot (t_в - t_з)}{C},$$

$$q = \alpha_в (t_в - \tau_в) = \frac{k \cdot (t_в - t_з)}{C},$$

$$t_в - \tau_в = \frac{k \cdot (t_в - t_з)}{\alpha_в \cdot C},$$

$$\tau_в = t_в - \frac{k \cdot (t_в - t_з)}{\alpha_в \cdot C}. \qquad (8)$$

У формулі (8) імовірнісними параметрами будуть температура зовнішнього повітря, лінійний коефіцієнт теплопередачі та ширина температурного включення. При цьому лінійний коефіцієнт теплопередачі є функцією імовірнісних параметрів, оскільки він залежить від геометричних параметрів елементів, що складають розглядуваний вузол.

Головною проблемою у вирішенні поставленої задачі є визначення функції розподілу лінійного коефіцієнта теплопередачі температурного включення. Саме різниця у функції лінійного коефіцієнта теплопередачі буде відрізняти різні вузли огороджувальних конструкцій та їх типи. Для точного вирішення задачі значення лінійного коефіцієнта теплопередачі необхідно визначати шляхом натурних вимірювань або шляхом розрахунку дво- або тривимірних моделей вузлів огороджувальних конструкцій.

Одним із шляхів отримання функції розподілу лінійного коефіцієнта теплопередачі є проведення багатофакторного експерименту. Результати для експерименту доцільно отримувати шляхом розрахунку вузлів огороджувальних конструкцій методом скінченних елементів. Робота [6] містить приклад визначення функції лінійного коефіцієнта теплопередачі для рядового вузла стіни із сталевим профілем у вигляді температурного включення (рис. 1).

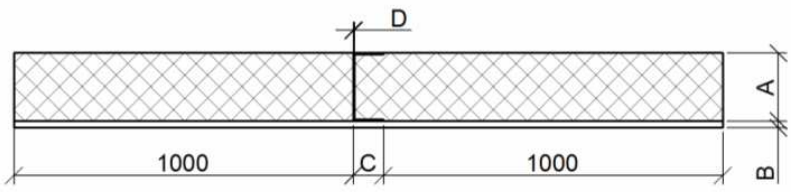

Рис. 1. Схема огороджувальної конструкції

Формула для визначення лінійного коефіцієнта теплопередачі увійшла до ДСТУ «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель» [9]:

$$k=0,1-0,4A-4B+2,2C+25D, \qquad (9)$$

де A – товщина шару утеплювача, м;

B – товщина оздоблювального шару, м;

C – ширина полиці сталевого профіля (ширина теплопровідного включення), м;

D – товщина сталевого профілю, м.

Оскільки функція (8) лінійна, статистичні характеристики результуючої випадкової величини лінійного коефіцієнта теплопередачі k були визначені методом лінеаризації функції випадкових величин. Математичне сподівання та стандарт лінійного коефіцієнта теплопередачі дорівнюють:

$$M_k = 0,1 - 0,4M_A - 4M_B + 2,2M_C + 25M_D, \qquad (10)$$

$$S_k = \sqrt{0,16S_A^2 + 16S_B^2 + 4,84S_C^2 + 625S_D^2}, \qquad (11)$$

де M_i та S_i – математичне сподівання і стандарт геометричних параметрів елементів вузла, м.

Стандарт геометричних параметрів товщини шарів огороджувальних конструкцій та розмірів елементів сталевого профілю можна визначити за формулою

$$S_i = \frac{\Delta_i}{1,64}, \qquad (12)$$

де Δ_i – величина допуску для розглядуваного елемента, що визначена згідно з державними стандартами України або інших країн, м.

Для визначення статистичних характеристик функції локальної температури на внутрішній поверхні стіни (7) також використаємо метод лінеаризації [15]. Математичне сподівання і стандарт функції локальної температури на внутрішній поверхні стіни будуть визначатись за формулами (13) та (14).

$$M_{\tau_в} = t_в - \frac{M_k\left(t_в - M_{t_з}\right)}{M_C \cdot \alpha_в}, \qquad (13)$$

$$S_{\tau_в} = \sqrt{\left(\frac{t_в - M_{t_з}}{M_C \cdot \alpha_в}\right)^2 S_k^2 + \left(\frac{M_k}{M_C \cdot \alpha_в}\right)^2 S_{t_з}^2 + \left[\left(\frac{M_k\left(t_в - M_{t_з}\right)}{M_C^2 \cdot \alpha_в}\right)^2 S_C^2\right]}, \qquad (14)$$

де $M_{t_з}$, $S_{t_з}$ – математичне сподівання і стандарт функції температури зовнішнього повітря для найбільш холодної доби або найбільш холодної п'ятиденки, визначені за формулами (1) та (2), ºС;

M_C, S_C – математичне сподівання і стандарт функції розподілу ширини теплопровідного включення, м.

Числовий приклад. Необхідно визначити імовірність теплової відмови вузла стінової конструкції із теплопровідним включенням у вигляді сталевої стійки за критерієм зниження локальних температур при розташуванні будівлі в м. Полтава та м. Кіровоград. Розрахункова схема вузла подана рис. 2.

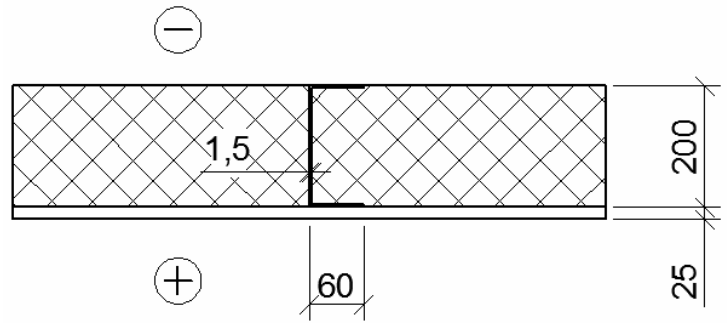

Рис. 2. Розрахункова схема вузла стінової конструкції

Величини допусків геометричних параметрів теплопровідного включення визначимо згідно з будівельними стандартами [12-14]. Так, допуск, на відхилення ширини полички та висоти стінки для профілю товщиною 1,5 мм становить $\Delta_A = \Delta_C = 0{,}75$ мм [13]. Допуск на товщину гіпсокартонної обшивки Δ_B=0,9 мм [14]. Допуск на товщину листа, з якого виготовлено профіль, при товщині листа від 1,2 до 1,6 мм становить Δ_D=0,11 мм [12].

Тоді для геометричних параметрів, математичне сподівання та стандарт, згідно з формулою (11) будуть дорівнювати:

M_A=0,2 м; S_A=0,000457317 м;
M_B=0,025 м; S_B=0,00054878 м;
M_C=0,06 м; S_C=0,000457317 м;
M_D=0,0015 м; S_D=0,00006707 м.

За формулами (9) та (10) знаходимо математичне сподівання і стандарт функції лінійного коефіцієнта теплопередачі *k*.

M_k=0,0895 Вт/м×К; S_k=0,002945 Вт/м×К.

Значення математичного сподівання $M_{t_з}$ і стандарту $S_{t_з}$ функції температури зовнішнього повітря для найбільш холодної доби або п'ятиденки для м. Полтава та м. Кіровоград візьмемо із табл. 1 та 2.

Значення математичного сподівання і стандарту функції локальної температури на внутрішній поверхні стіни наведемо в табл. 3.

При відносній вологості повітря 60 % конденсація вологи на поверхні буде відбуватися при температурі t_p=12°С. Коефіцієнт безпеки β знайдемо за формулою

$$\beta = \frac{M_{t_з} - t_p}{S_{t_з}}. \qquad (15)$$

Таблиця 3

Період	Місто	Математичне сподівання, ºС	Стандарт, ºС
Доба	Полтава	+12,813	0,7518
Доба	Кіровоград	+13,4332	0,7029
П’ять діб	Полтава	+13,354	0,7461
П’ять діб	Кіровоград	+13,9407	0,6977

Імовірність теплової відмови визначимо за формулою (4). Значення характеристик безпеки та числове значення імовірності події, при якій температура в місці теплопровідного включення буде меншою за температуру точки роси (t_p), подано в табл. 4.

Таблиця 4

Період	Місто	β	Імовірність теплової відмови Q
Доба	Полтава	1,081	0,1399
Доба	Кіровоград	2,039	0,0207
П’ять діб	Полтава	1,815	0,0347
П’ять діб	Кіровоград	2,782	0,0027

Отримані результати дають змогу зробити висновок, що імовірність настання теплової відмови у вигляді конденсації вологи на стіні в місці встановлення сталевого профіля для стінової конструкції, поданої на рис. 2, у 7 разів більша для м. Полтава, ніж для м. Кіровоград, хоча згідно з ДБН [3] обидва міста розташовані в одному температурному районі. При використанні як розрахункової температури зовнішнього повітря значень температури найбільш холодної п’ятиденки імовірність настання теплової відмови менша в 4 рази для м. Полтава та в 7,6 разу для м. Кіровограда, ніж при використанні значень найбільш холодної доби.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. В даній роботі подана методика оцінки імовірності теплової відмови вузлів огороджувальних конструкцій за критерієм зниження локальних значень температур. Даний підхід може бути використаний не лише для оцінки теплової надійності огороджувальних конструкцій із сталевих холодноформованих профілів, але і для будь-яких інших огороджувальних конструкцій із теплопровідними включеннями. Дана методика може мати розвиток у напрямі подальшого встановлення факторів, що впливають на імовірність теплової відмови вузлів огороджувальних конструкцій та у встановленні функції визначення лінійного коефіцієнта теплопередачі для різних вузлів огороджувальних конструкцій.

Список використаних джерел

1. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель [Текст]. – К. : Мінбуд України, 2006. – 65 с.

2. ДБН В.2.6-31:2006 Теплова ізоляція будівель. Зміна №1 [Текст] // Інформаційний бюлетень МРУ. – 2013. – № 5. – С. 3–11.

3. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія [Текст]. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2011. – 123 с.

4. Пашинський, В.А. Методика оцінювання теплової надійності стін за критерієм тепловитрат [Текст] / В.А. Пашинський, О.А. Плотніков, А.М. Карюк // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2014. – Вип. 45. – С. 417-423.

5. Шульгін, В.В. Імовірнісне подання технічних характеристик теплоізоляційних матеріалів [Текст] / В.В. Шульгін, А.М. Карюк // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 4(39). – Т. 2. – С. 257-262.

6. Semko, V. Linear heat-transfer coefficient equation for a wall structure made of steel profiles / V. Semko, B. Gorb, A. Akamsin // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ГВУЗ ПГАСА, 2014. – Вып. 75. – С. 227-230.

7. Stankevičius, V. The Effect of Stochastically Dependent Physical Parameters on the Materials' Thermal Receptivity Coefficient / Vytautas Stankevičius, Liutauras Kairys // Materials science (Medžiagotyra). – Vol. 11. – No. 2. – 2005. –P.188-192.

8. Uncertainty in the Thermal Conductivity of Insulation Materials / F. Domínguez-Muñoz, B.Anderson, J.M. Cejudo-López, A. Carrillo-Andrés // Eleventh International IBPSA Conference, July 27-30, 2009. - Glasgow, Scotland. – 2009. – P. 1008-1013.

9. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель [Текст]. – К.: Укрархбудінформ, 2013. – 54 с.

10. Фаренюк, Г.Г. Методологічні аспекти забезпечення енергоефективності та теплової надійності будинків [Текст] / Г.Г. Фаренюк // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ГВУЗ ПГАСА, 2009. – Вып. 50. – С. 593-597.

11. Пашинський, В.А. Температурні впливи на огороджувальні конструкції будівель [Текст] / В.А. Пашинський, Н.В. Пушкар, А.М. Карюк. – Одеса: ОДАБА, 2012. – 180 с.

12. ДСТУ EN 10143:2014. Лист і штаба сталеві з покривом, нанесеним методом безперервного гарячого занурювання. Допуски на розміри та форму (EN 10143:2006, IDT) [Текст]. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014. – 13 с.

13. EN 10162:2003. Cold rolled steel sections. Technical delivery conditions. Dimensional and cross-sectional tolerances. – Brussels : CEN, 2003. – 21 p.

14. ДСТУ В.2.7-95-2000. Будівельні матеріали. Листи гіпсокартонні. Технічні умови. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2000. – 16 с.

15. Пичугин, С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий [Текст]: монография / С.Ф. Пичугин. – М.: Ассоциации строительных вузов, 2011. – 456 с.

Пічугін Сергій Федорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою конструкцій із металу, дерева та пластмас Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Тел.: (050) 5917728.

Семко Володимир Олександрович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, докторант кафедри конструкцій із металу, дерева та пластмас Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Тел.: (050) 3043051.

Pitchugin Serhij, doctor of technical sciences, professor, chair of department of structures from metal, wood and plastics Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Tel.: (050) 5917728.

Semko Volodymyr, candidate of technical sciences, doctoral student of department of structures from metal, wood and plastics Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Tel.: (050) 3043051.

Прийнята 15.03.2016 р.