

## Теплотехнічні показники збірних систем зовнішніх стін з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® OUTDOOR

Микола Тимофєєв<sup>1</sup>, Галина Шамріна<sup>2</sup>, Дар'я Хохрякова<sup>3</sup>

Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

<sup>1</sup>cotim1951@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9234-6567

Донбаська національна академія будівництва і архітектури  
14, вул. Героїв Небесної Сотні, Краматорськ, Україна, 84333

<sup>2</sup>g.v.shamrina@donnaba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-5422-9562

<sup>3</sup>d.o.khokhriakova@donnaba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-9257-5703

DOI: 10.32347/2310-0516.2019.12.57-67

**Анотація.** Конструкції збірної системи з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® Cement Board Outdoor мають очевидні переваги. Теплові мости, що створюються інтенсивним використанням стали в каркасі системи, можуть значно знижувати теплотехнічні характеристики конструкції.

Дослідження було спрямоване на визначення області раціонального застосування збірних систем в якості зовнішніх огорожень будівель в кліматичних умовах України. Застосовувався метод чисельного моделювання двомірних температурних полів та теплових потоків із використанням програми THERM 7.5.

За конструктивним рішенням було обрано чотири збірних системи з використанням цементної плити КНАУФ AQUAPANEL® Cement Board Outdoor з однорядним та дворядним розташуванням металевих суцільних стійкових профілів компанії "STEELCO" з висотою перетину 100, 150 і 200 мм і шагом 400 мм.

Розрахунки приведенного опору теплопередачі виконувались за умов дотримання мінімальних вимог згідно ДСТУ В.2.6-189:2013, що встановлюються при визначенні необхідної товщини теплоізоляційного шару в конструкції. Враховувався термічний вплив теплопровідних включень, що є характерними для обраних конструкцій: - металеві стійки каркасу глухих ділянок стіни і віконні відкоси в місцях розташування світлопрозорих огорожувальних конструкцій. За результатами моделювання для кожної збірної системи і відповідних стійкових профілів були визначені лінійні коефіцієнти та приведені опір теплопередачі.



**Микола Тимофєєв**

доцент кафедри архітектурних конструкцій  
к.т.н., доц.



**Галина Шамріна**

доцент кафедри будівельних конструкцій, будівель і споруд  
к.т.н., доц.



**Дар'я Хохрякова**

доцент кафедри будівельних конструкцій, будівель і споруд  
к.т.н., доц.

За результатами розрахунків визначені варіанти збірних систем, які відповідають мінімальним вимогам. Для житлового і громадського будівництва в I температурній зоні – збірна система 2 з висотою перерізу стійкового профілю 150 та 200 мм; в II температурній зоні - збірна система 2 з висотою перерізу стійкового профілю 100, 150, 200 мм та збірна система 3 з висотою перерізу стійкового профілю 200 мм.

**Ключові слова.** Приведений опір теплопередачі; лінійний коефіцієнт теплопередачі; теплові мости; збірна система; плита AQUAPANEL® Cement Board Outdoor.

## ВСТУП

Збірні системи, розроблені з використанням цементної плити КНАУФ AQUAPANEL® Cement Board Outdoor (далі збірна система, назва прийнята згідно з ДСТУ-Н Б А.1.1-84:2008), являють собою системи швидкокомтованих конструкцій зовнішніх стін з каркасом із легких сталевих тонкостінних конструкцій (ЛСТК), що є серйозною альтернативою традиційним масивним цегляним стінам [1, 2]. На підставі аналізу технічних рішень збірних систем зовнішнього сухого будівництва, розроблених з використанням цементної плити AQUAPANEL® Cement Board Outdoor [3], з метою виявлення можливостей раціонального застосування для різних об'єктів в попередніх публікаціях була розроблена класифікація розглянутої збірної системи за кількома ознаками [4]. Класифікація розглянутої збірної системи для будівель стала першим важливим етапом для подальших теплотехнічних розрахунків по теплостійкості конструкції, оцінки вологісного режиму, врахування впливу теплопровідних включень елементів каркаса на опір теплопередачі конструкції стіни в цілому та ін [5].

Надійність і довговічність збірних систем, як з точки зору забезпечення міцності, так і з точки зору забезпечення надійності теплозахисних функцій залежить від якості елементів конструкції і якості виконання робіт, а воно в свою чергу безпосередньо залежить від нормативно-технічного забезпечення. Весь обсяг технічної документації за даною технологією, представлений на даний час в Україні, носить лише рекомендаційний характер [3].

Особливість конструктивного рішення зовнішніх стін із застосуванням плити AQUAPANEL® Cement Board Outdoor, а саме наявність металевих каркасу, мала масивність елементів стіни вимагає особливої уваги і підтверджуючих розрахунків, що враховують вплив теплопровідних включень елементів каркасу збірної системи і конструктивних елементів будівлі в місцях

вузлових з'єднань на приведений опір теплопередачі конструкції стіни [6, 7, 8, 9].

Основні конструктивні рішення збірних систем, що наводяться в Європейському технічному свідоцтві European Technical Approval, The Catalonia Institute of Construction Technology, розроблені для усереднених кліматичних умов країн Євро-союзу і тому вони не можуть бути застосовані в кліматичних умовах України [3, 9].

Відсутність матеріалів для проектування, конструкцій вузлів збірних систем, виконаних відповідно до прийнятих в 2016 - 2017 рр. нових нормативних документів України з теплової ізоляції і енергоефективності будівель, може привести до помилок при проектуванні або при виконанні робіт безпосередньо на будівельному об'єкті, і відповідно, до істотного зниження теплової надійності конструкції [4, 10, 11, 12].

Системний підхід до проектування огорожувальних конструкцій будівель, визначений в ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель», встановлює вимоги до застосування збірних систем в якості огорожувальних конструкцій будівель. Їх використання повинно бути підтверджено розрахунками як теплофізичних показників конструкції, так і показниками енергоефективності будівлі з збірною системою в цілому [13, 14, 15].

Незважаючи на очевидні переваги конструкції збірної системи, якщо її неправильно спроектувати і побудувати, теплові мости, що створюються інтенсивним використанням стали, можуть значно знижувати теплотехнічні характеристики оболонки будівлі та, як наслідок, загальну ефективність їх використання. З огляду на це, в останні роки, були зроблені зусилля і методології для оцінки та поліпшення теплової поведінки таких структур, ослаблення впливу теплового моста у зовнішній оболонці [8, 9, 10, 16].

## МЕТА І МЕТОДИ

Прикладне дослідження було спрямоване на визначення області раціонального застосування збірних систем, які є досить

складними термічно неоднорідними конструкціями, в якості зовнішніх огорожень будівель в кліматичних умовах України, визначення типів технічних рішень збірних систем, рекомендованих до застосування при проектуванні будівель, що відповідають мінімальним нормативним вимогам щодо забезпечення теплової надійності конструкції.

Це обумовило необхідність аналізу процесів теплопередачі, впливу металевих стійок каркасу збірної системи, що є характерними «містками холоду» в конструкції стіни, на теплову надійність стін з використанням ЛСТК, і, в кінцевому рахунку, визначення типів конструктивних рішень збірних систем, в яких приведений опір теплопередачі буде відповідати мінімальним нормативним вимогам.

Розрахунок приведенного опору теплопередачі збірних систем, в свою чергу, вимагає визначення лінійних коефіцієнтів теплопередачі у характерних вузлових з'єднаннях [17].

В даному дослідженні застосовувався метод чисельного моделювання двомірних температурних полів та теплових потоків із використанням програми THERM 7.5, що за результатами розрахунків надає інформацію про температурні поля та теплові потоки.

На основі чисельного моделювання можливо з достатньою достовірністю дослідити процеси спільної роботи елементів збірних систем КНАУФ із використанням цементної плити AQUAPANEL® Cement Board Outdoor [18, 19, 20].

Лінійні коефіцієнти теплопередачі та приведений опір визначались за уточненою методикою, що наведена в ДСТУ В.2.6-189:2013, та рекомендаціями, що містяться в ДСТУ ISO 10211-2:2005. Перед початком користування програмою чисельного моделювання температурних полів було проведено її тестування за методикою, що наведена в ДСТУ ISO 10211-2:2005, з використанням еталонної конструкції. За результатами тестування встановлено, що розбіжність отриманих і нормативних значень температур не перебільшує 0,1 К, а теплового потоку

становлять 0,1 Вт/м<sup>2</sup>. Відносна похибка становила відповідно 0,6 % та 1,05 %, що не перебільшує рекомендованих 2%, і програма THERM 7.5 забезпечує потрібну точність визначених показників і може бути застосованою в подальших розрахунках.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

### **Конструктивні рішення збірних систем з використанням цементно-мінеральної плити КНАУФ Aquarpanel® Cement Board Outdoor і характеристики їх компонентів**

В рамках дослідження було обрано за конструктивним рішенням чотири збірних системи з однорядним та дворядним розташуванням металевих суцільних стійкових профілів компанії "STEELCO" з висотою перетину 100, 150 і 200 мм. В найменуванні варіантів, прийнятих для розрахунку, перша цифра означає номер системи, друга – висоту перетину металевого профілю каркасу, мм.

Найменування шарів у збірних системах та їх товщини й теплопровідності надані в таблиці 1. Величини розрахункових теплофізичних параметрів матеріалів, що використовуються, прийнято за даними фірмовиробників та ДСТУ Б В.2.6-189:2013.

Крок металевих стійок прийнято 400 мм виходячи із забезпечення їх несучої здатності та стійкості для будівель висотою більше 8 м за вітрового навантаження 600 Па відповідно до рекомендацій компанії Knauf AQUAPANEL GmbH & Co. KG.

### **Розрахункові кліматичні параметри**

Розрахункова температура внутрішнього повітря прийнята як для житлових будівель згідно таблиці В.1 ДБН В.2.6-31:2016  $t_b = 20$  °С, розрахункове значення відносної вологості приміщень – 55 %, мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні –  $t_{min} = 10,7$ °С. Розрахункова температура зовнішнього повітря прийнято згідно таблиці В.4 ДБН В.2.6-31:2016  $t_3 = -22$  °С як для І температурної зони України.

### **Обґрунтування визначення розрахункових величин.**

Розрахунки опору теплопередачі виконувались за ДСТУ Б В.2.6-189:2013, що в п. 5.6 встановлює умови при визначенні необхідної товщини теплоізоляційного шару врахування термічного впливу теплопровідних включень, що є характерними особливостями непрозорої огорожувальної конструкції. Для конструкцій, що розглядаються, такими теплопровідними включеннями є: металеві стійки каркасу глухих ділянок стіни і віконні відкоси в місцях розташування світлопрозорих огорожувальних конструкцій.

Отже, визначались:

- 1) опір теплопередачі  $R_{\Sigma}$  для термічно однорідної частини конструкції (основному полю) визначався без урахування теплопровідних включень;
- 2) приведений опір теплопередачі  $R_{\Sigma пр1}$  для термічно неоднорідної частини стіни визначався з урахуванням теплопровідних включень (стійки каркасу);
- 3) приведений опір теплопередачі  $R_{\Sigma пр2}$  для термічно неоднорідної частини стіни визначався з урахуванням теплопровідних включень (стійки каркасу і віконні відкоси). Мінімальна температура на внутрішній поверхні встановлюється за результатами чисельного моделювання двомірних температурних полів.

**Обґрунтування вибору ділянки для визначення лінійних коефіцієнтів теплопередачі примикання збірних стінових систем до світлопрозорих огорожувальних конструкцій.**

При моделюванні температурних полів в місці стику збірних стінових систем і світлопрозорої огорожувальної конструкції віконного заповнення прийняті наступні умови:

- примикання конструкції вікна до стінової системи прийнято однотипним без урахування підвіконня та влаштування відкосів на вертикальних та верхній горизонтальній поверхнях;
- ділянка стіни від поперечного перетину з адіабатичними умовами до зовнішньої поверхні стоякового профілю становить  $h = 0,2$  м і ця ділянка являється основним полем (рис. 1);

- загальна довжина  $H$ , для якої визначається тепловий потік  $U$ , включає величину  $h$  і продовжується до точки стику гіпсокартонних листів з коробкою вікна (на рис. 1 складається з 25 мм по внутрішній поверхні стіни та 25 мм – двох шарів ГКЛ);
- коробка вікна (непрозора огорожувальна конструкція) прийнята товщиною 0,082 м з еквівалентною теплопровідністю 0,077 Вт/(м·К), що забезпечує приведений опір теплопередачі на рівні 1,06 м<sup>2</sup>К/Вт;
- світлопрозоре заповнення прийнято товщиною 0,044 м з еквівалентною теплопровідністю 0,06 Вт/(м·К), що забезпечує приведений опір теплопередачі на рівні 0,73 м<sup>2</sup>К/Вт;- приведений опір теплопередачі умовного світлопрозорого огороження із урахуванням теплопровідних включень становить 0,8 м<sup>2</sup>К/Вт;
- коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній поверхні світлопрозорої огорожувальної конструкції згідно з додатком Б ДСТУ Б В.2.6-189:2013 становить 8 Вт/(м<sup>2</sup>·К);
- із зовнішньої сторони поверхня стійкового профілю має додаткове утеплення із мінеральної вати товщиною 0,03 м;
- між стояковим профілем і коробкою вікна передбачено шар із монтажної піни товщиною 0,015 м з теплопровідністю 0,05 Вт/(м·К).

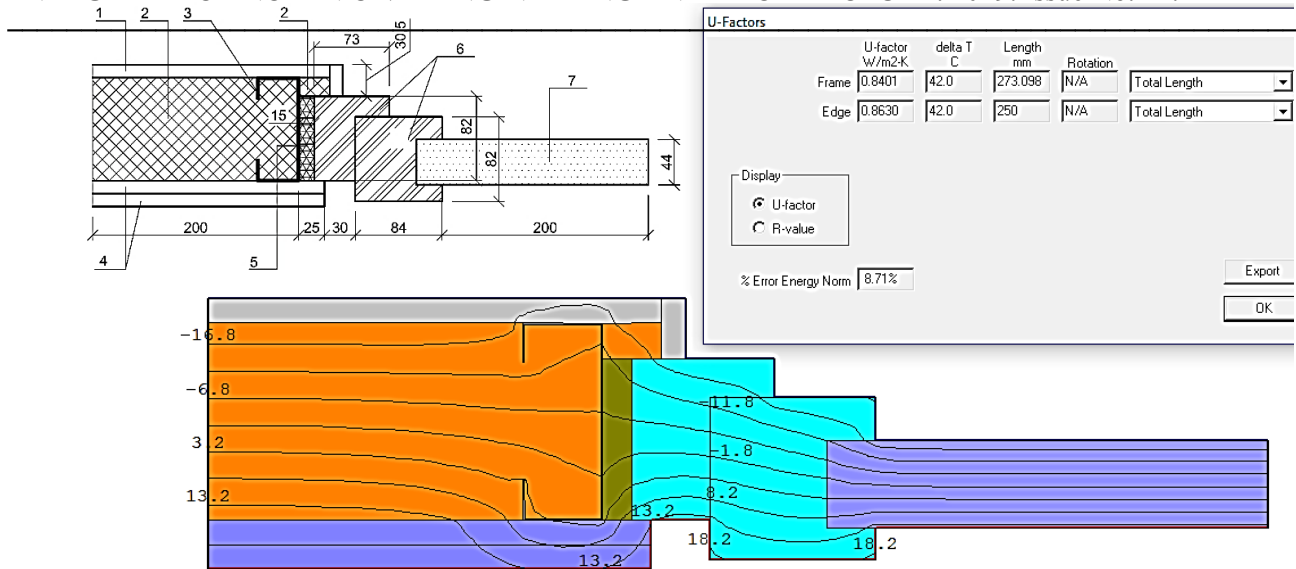
За результатами моделювання температурних полів та розрахунків теплових потоків для кожної збірної системи і відповідних товщин стійкових профілів були визначені теплотехнічні характеристики, які наведені у табличній формі (табл. 2).

Аналіз відповідності отриманих результатів розрахунку приведенного опору теплопередачі збірних систем вимогам ДСТУ Б В.2.6-189, що встановлюються при визначенні товщини утеплювача в непрозорій огорожувальній конструкції, наведено на рис. 2.

Із табл. 2 і наведеної діаграми видно, що урахування лінійних коефіцієнтів теплопередачі в місцях розташування металевих стійок каркасу, що є характерними теплопровідними включеннями збірних систем, суттєво впливають на опір теплопередачі конструкції.

**Табл. 1.** Характеристики шарів стіни збірних систем  
**Table 1.** Characteristics layers of assembled systems

Схема збірної системи	Характеристики шарів збірної системи	Товщина шару, м	Теплопровідність, Вт/(м·К)
2	3	4	5
<b>Система 1- однорядне розташування стійкових профілів без внутрішнього горизонтального профілю</b>			
<p>Горизонтальний переріз</p>	1 – цементно-мінеральна плита; 2 – вітрогідробар'єр (не враховується); 3 – профіль стоячковий; 4 – теплоізоляційний матеріал; 5 – пароізоляція (не враховується); 6 – гіпсокартонна плита (2 шари), 7 – шов між цементно-мінеральними плитами	0,0125 - 0,0007 100; 150; 200 - 0,025x2=0,05 0,004	0,35 - 58 0,045 - 0,21 0,45
<b>Система 2 - дворядне розташування стоячкових профілів без проміжної плити</b>			
<p>Горизонтальний переріз</p> <p>Вертикальний переріз</p>	1 – цементно-мінеральна плита; 2 – вітрогідробар'єр (не враховується); 3 – профіль стоячковий; 4 – теплоізоляційний матеріал; 5 – пароізоляція (не враховується); 6 – гіпсокартонна плита (2 шари); 7 – теплоізоляційний матеріал; 8 – шов між цементно-мінеральними плитами	0,0125 - 0,0007 100; 150; 200 - 0,025x2=0,05 0,08 0,004	0,35 - 58 0,045 - 0,21 0,045 0,45
<b>Система 3 - дворядне розташування стоячкових профілів без проміжної плити</b>			
<p>Горизонтальний переріз</p>	1 – цементно-мінеральна плита; 2 – вітрогідробар'єр (не враховується); 3 – профіль стоячковий основний; 4 – теплоізоляційний матеріал; 5 – повітряний прошарок; 6 – профіль стоячковий допоміжний; 7 – теплоізоляційний матеріал; 8 – пароізоляція (не враховується); 9 – гіпсокартонна плита (2 шари); 10 – шов між цементно-мінеральними плитами	0,0125 - 0,0007 100; 150; 200 0,02 0,0006 0,075 - 0,025x2=0,05 0,004	0,35 - 58 0,045 0,133 58 0,045 - 0,21 0,45
<b>Система 4 - дворядне розташування стоячкових профілів з проміжною плитою</b>			
<p>Горизонтальний переріз</p>	1 – цементно-мінеральна плита; 2 – вітрогідробар'єр (не враховується); 3 – профіль стоячковий основний; 4 – теплоізоляційний матеріал; 5 – гіпсокартонна плита (1 шар); 6 – повітряний прошарок; 7 – профіль стоячковий допоміжний; 8 – теплоізоляційний матеріал; 9 – пароізоляція (не враховується); 10 – гіпсокартонна плита (1 шар); 11 – шов між цементно-мінеральними плитами	0,0125 - 0,0007 100; 150; 200 0,0125 0,0075 0,0006 0,075 - 0,0125 0,004	0,35 - 58 0,045 0,21 0,06 58 0,045 - 0,21 0,45



**Рис. 1.** Схема стику конструкції вікна зі стіною системи 1 і результати моделювання температурного поля для варіанту збірної системи 1-100.

Умовні позначення: 1 - цементно-мінеральна плита AQUAPANEL® Cement Board Outdoor; 2 - теплоізоляційний матеріал – мінеральна вата; 3 - профіль стоячковий без прорізів; 4 - гіпсокартонна плита; 5 - піна монтажна; 6 - віконний ПВХ-профіль; 7 – склопакет

**Fig. 1.** The scheme of the joint design of the window with the wall and the results of modeling the temperature field for the option of the assembled system 1-100.

Symbols: 1 - AQUAPANEL® Cement Board Outdoor; 2 - thermal insulation - mineral rock wool; 3 - metal stud without cuts; 4 - gypsum board; 5 - polyurethane foam; 6 – PVC window profile; 7 - double glazing

**Табл. 2.** Теплотехнічні характеристики збірних систем за результатами моделювання температурних полів та розрахунків теплових потоків.

**Table 2.** Thermal performance of the assembled systems based on the results of numerical simulations of two-dimensional temperature field and heat flow rate.

Варіант збірної системи	Опір теплопередачі однорідної частини стіни, $R_{\Sigma}$ , $m^2K/Wt$	Коефіцієнт теплопередачі, $U$ , $Wt/m^2K$	Лінійний коефіцієнт теплопередачі, $k$ , $Wt/mK$	Приведений опір теплопередачі неоднорідної частини стіни з урахуванням теплопровідних включень, $R_{\Sigma пр}$ , $m^2K/Wt$		Коефіцієнт теплотехнічної неоднорідності, $g$	Мінімальна температура в зоні теплопровідного включення, $\tau_{min}$ , $^{\circ}C$
				$R_{\Sigma пр1}$	$R_{\Sigma пр2}$		
1-100	2,54	0,7002	0,123	1,43	1,34	0,563	12,1
1-150	3,65	0,5639	0,116	1,77	1,64	0,486	13,6
1-200	4,76	0,4664	0,103	2,14	1,93	0,451	14,6
2-100	4,25	0,2943/ 0,2612*	0,0238/ 0,0158*	3,22	3,12	0,799	17,1
2-150	5,37	0,2616/ 0,2023*	0,0297/ 0,0097*	3,77	3,47	0,703	17,9
2-200	6,48	0,2383/ 0,652*	0,0337/ 0,0066*	4,22	3,79	0,651	18,3
3-100	4,35	0,4133	0,074	2,42	2,33	0,556	15,7
3-150	5,46	0,3605	0,071	2,87	2,60	0,508	16,2
3-200	6,57	0,3192	0,067	3,25	2,85	0,477	16,6
4-100	4,32	0,4153	0,074	2,41	2,23	0,556	15,0
4-150	5,44	0,3622	0,071	2,76	2,38	0,508	15,5
4-200	6,55	0,321	0,067	3,12	2,72	0,476	16,0

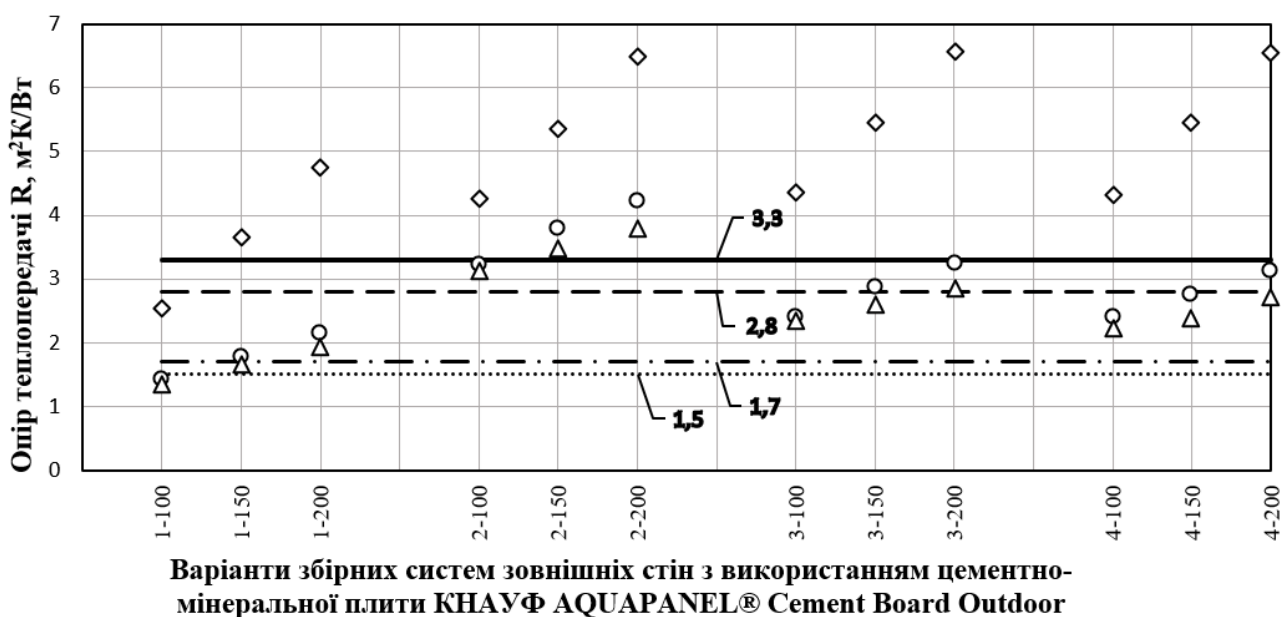
\*В чисельнику наведено значення для горизонтального перерізу, в знаменнику – для вертикального перерізу конструкції

Розрахунки приведених опорів теплопередачі з урахуванням лінійних коефіцієнтів теплопередачі, які відносяться до непрозорої огорожувальної конструкції - віконних відкосів віконних конструкцій, показали, що мінімальним вимогам відповідають конструкції:

- збірна система 2 з висотою перерізу стійкового профілю 100 мм для житлового (громадського) будівництва в II температурній зоні України, а з висотою перерізу стійкового профілю 150 мм та 200 мм - в I та II температурних зонах України

- збірна система 3 з висотою перерізу стійкового профілю 200 мм для житлового (громадського) будівництва в II температурній зоні України;

- збірна система 1 з висотою перерізу стійкового профілю 150 мм та 200 мм і збірні системи 2-4 з висотою перерізу стійкового профілю 100 мм, 150 мм та 200 мм для промислового (сільськогосподарського) будівництва в I та II температурних зонах України.



**Рис. 2.** Аналіз відповідності збірних систем вимогам ДСТУ Б В.2.6-189, що встановлюються при визначенні товщини утеплювача в непрозорій огорожувальній конструкції.

Умовні позначення:  $\diamond$  -  $R_{\Sigma}$  для термічно однорідної частини стіни без урахування теплопровідних включень;  $\circ$  -  $R_{\Sigma_{np1}}$  для термічно неоднорідної частини стіни з урахуванням теплопровідних включень (стійки каркасу);  $\triangle$  -  $R_{\Sigma_{np2}}$  для неоднорідної частини стіни з урахуванням теплопровідних включень (стійки каркасу і віконні відкоси);  $\text{—}$  -  $R_{q \min}$  для житлових і громадських будинків, I температурна зона;  $\text{---}$  -  $R_{q \min}$  для житлових і громадських будинків, II температурна зона;  $\text{—} \cdot \text{—}$  -  $R_{q \min}$  для промислових будинків, I температурна зона;  $\cdots$  -  $R_{q \min}$  для промислових будинків, II температурна зона.

**Fig. 2.** Compliance analysis of the assembled systems with the DSTU B B.2.6-189, installed when determining the thickness of the insulation in an opaque protecting structure.

Symbols:  $\diamond$  -  $R_{\Sigma}$  for a thermally homogeneous part of the wall without considering thermal bridges;  $\circ$  -  $R_{\Sigma_{np1}}$  for the thermally uniform part of the wall, into account thermal bridges (metal studs);  $\triangle$  -  $R_{\Sigma_{np2}}$  for the thermally uniform part of the wall, taking into account thermal bridges (metal studs and jamb wall);  $\text{—}$  -  $R_{q \min}$  for civil buildings, I temperature zone;  $\text{---}$  -  $R_{q \min}$  for civil buildings, II temperature zone;  $\text{—} \cdot \text{—}$  -  $R_{q \min}$  for industrial buildings, I temperature zone;  $\cdots$  -  $R_{q \min}$  for industrial buildings, II temperature zone.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В ході дослідження конструктивних рішень збірних систем 1÷4 з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® Cement Board Outdoor визначені теплотехнічні показники - приведені опори теплопередачі та мінімальні температури в характерних для конструкції місцях теплопровідних включень, які враховуються при визначенні необхідної товщини теплоізоляційного шару.

За результатами розрахунків встановлено:

1. Для термічно однорідної частини стіни (без урахування теплопровідних включень) за виключенням варіанту 1-100 (збірна система 1) величини опору теплопередачі мають значення, що перевищують мінімально допустимі для житлового і громадського будівництва -  $R_{qmin} = 3,3 \text{ м}^2\text{К/Вт}$  для I-ої температурної зони України і  $R_{qmin} = 2,8 \text{ м}^2\text{К/Вт}$  для II-ої температурної зони.

2. За результатами моделювання температурних полів та розрахунків теплових потоків визначені лінійні коефіцієнти теплопередачі прийнятих варіантів конструктивних рішень та вузлових з'єднань в місцях віконних відкосів, які застосовуються для розрахунків приведених опорів теплопередачі при визначенні необхідної товщини теплоізоляційного шару в конструкції.

3. Для термічно неоднорідної частини збірних систем 1÷4 (з урахуванням теплопровідних включень - стійкових профілів і віконних відкосів) величини приведенного опору теплопередачі мають значення, що перевищують мінімально допустимі для житлового і громадського будівництва і можуть бути рекомендованими:

3.1 збірна система 2 з висотою перерізу стійкового профілю 100 мм (варіант 2-100) для житлового і громадського будівництва в II температурній зоні України, а з висотою перерізу стійкового профілю 150 мм та 200 мм (варіанти 2-150 і 2-200) - в I та II температурних зонах України

3.2 збірна система 3 з висотою перерізу стійкового профілю 200 мм для житлового (громадського) будівництва в II температурній зоні України;

3.3 збірна система 1 з висотою перерізу стійкового профілю 150 мм та 200 мм і збірні системи 2-4 з висотою перерізу стійкового профілю 100 мм, 150 мм та 200 мм для промислового (сільськогосподарського) будівництва в I та II температурних зонах України.

4. За результатами моделювання температурних полів конструктивних рішень та вузлових з'єднань збірних систем 1÷4 встановлено, що мінімальні температури на внутрішніх поверхнях в вузлових з'єднаннях задовольняють вимогам ДБН В.2.6-31:2016, оскільки перевищують допустимі значення ( $10,7 \text{ }^\circ\text{C}$  для житлових та  $9,3 \text{ }^\circ\text{C}$  для громадських будівель)

5. Розраховано значення коефіцієнтів термічної однорідності  $r$  кожного варіанту конструктивного рішення і вузлового з'єднання збірних систем 1÷4 зовнішніх стін, які характеризують відношення приведенного опору теплопередачі до опору теплопередачі по основному полю.

В подальших дослідженнях необхідно провести розрахунки інших теплотехнічних показників для визначених збірних систем на відповідність вимогам ДБН В.2.6-31:2016, а саме теплостійкість огородження за літніх умов, теплостійкість приміщення у зимових умовах, паропроникність і повітропроникність огородження.

Також необхідно визначити область можливого застосування визначених збірних систем за умов відповідності нормативним вимогам ДБН В.2.6-31:2016, що встановлюються за методикою ДСТУ Б В.2.6-189:2013 при визначенні енергоефективності будинку. Для цього потрібно проаналізувати лінійні коефіцієнти теплопередачі та мінімальні температури в місцях теплопровідних включень для основних вузлових з'єднань зовнішньої стіни.

## ЛІТЕРАТУРА

1. **Veljkovic M., Johansson B.** Light steel framing for residential buildings. Thin-Walled Structures. 2006. №44. Pp. 1272–1279.
2. **Naji S., Çelik O.C., Alengaram U.J. [and other].** Structure, energy and cost efficiency evaluation of three different lightweight construction



- systems used in low-rise residential buildings. *Energy and buildings*. 2014. №84. Pp. 727–739.
3. **ETA 13/0312**. Kits para los Sistemas de fachada AQUAPANEL® WM111.C; WM211.C; WM311.C; WM411.C; WM111.G; WM211.G; WM311.G; WM411.G. [Текст]. Kits para sistemas de paredes exteriores no portantes con paneles de origen mineral, The Catalonia Institute of Construction Technology – Madrid, Spain, 2013, 85 p.
  4. **Шамрина Г.В., Хохрякова Д.А., Тимофеев М.В.** Комплектная система КНАУФ на основе цементных плит Aquapanel® Outdoor и перспективы ее применения в Украине. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. К. : КНУБА, 2017. Вип. 9. с. 243–248с.
  5. **Хохрякова Д.О., Шамрина Г.В., Дмитроченкова Е.І.** Визначення техніко-економічних показників енергоефективних зовнішніх каркасно-обшивних стін з використанням плит Aquapanel® Outdoor. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. К. : КНУБА, 2018. Вип. 26. с. 75– 82.
  6. **Пашинський В.А., Пушкар Н.В., Карюк А.М.** Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель. Одеса : ОДАБА, 2012. 180 с.
  7. **Семко В.О., Лещенко М.В., Криворотько І.С.** Дослідження теплових показників огорожувальних конструкцій зі сталевих тонкостінних профілів багатопверхових цивільних будівель. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2014. Вип. 29. С. 491–498.
  8. **Paulo Santos [and other]**. Thermal performance of lightweight steel framed wall: The importance of flanking thermal losses. *Article in Journal of Building Physics 2013*. Vol: 38 issue: 1, pp 81–98.
  9. Thermal bridging atlas of steel construction for improved energy efficiency of buildings (TABASCO). Grant Agreement RFSR-CT-2011-00028. Final report Directorate-General for Research and Innovation, European Commission. 2011. pp.141.
  10. **Garay R., Uriarte A., Apraiz I.** Performance assessment of thermal bridge elements into a full scale experimental study of a building façade. *Energy and buildings*. 2014. №85. Pp. 579–591.
  11. **Семко В. О.** Методика визначення ймовірності теплової відмови огорожувальних конструкцій із сталевих холодноформованих елементів за теплотехнічними показниками / *Строительство, материаловедение, машиностроение*. 2016. Вып. 91. С. 140–147.
  12. **Лещенко М. В.** Теплова надійність стін із легких сталевих тонкостінних конструкцій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. : спец. 05.23.01 / Лещенко Марина Валентинівна; ПолтНТУ. Полтава, 2016. 24 с.
  13. **Gervásio H., Santos P., Simões da Silva L. and Lopes A.M.G.** Influence of thermal insulation on the energy balance for cold-formed buildings *Advanced Steel Construction Vol. 6, No. 2, pp. 742-766 (2010)*
  14. **Eduardo Roque, Paulo Santos.** The Effectiveness of Thermal Insulation in Lightweight Steel-Framed Walls with Respect to Its Position. *Buildings 2017, 7, 13*
  15. **Kontogeorgos D.A., Atsonios I.A., Mandilaras I.D., Founti M.A.** Numerical investigation of the effect of vacuum insulation panels on the thermal bridges of a lightweight drywall envelope. *Journal of Facade Design and Engineering*. 2016. Vol. 4. issue: 1-2. P. 3–18.
  16. **Tenpierik M. J., Van der Spoel W. H., Cauber Johannes J. M.** Analytical Model for Computing Thermal Bridge Effects in High Performance Building Panels [Електронний ресурс]. URL: [http://www.researchgate.net/publication/242269808\\_Analytical\\_Model\\_for\\_Computing\\_Thermal\\_Bridge\\_Effects\\_in\\_High\\_Performance\\_Building\\_Panels](http://www.researchgate.net/publication/242269808_Analytical_Model_for_Computing_Thermal_Bridge_Effects_in_High_Performance_Building_Panels)
  17. **Фаренюк Г.Г., Колесник Є.С.** Визначення лінійного коефіцієнту теплопередачі термічно неоднорідних огорожувальних конструкцій. *Будівельні конструкції*. 2008. №1 (28). С. 138–147.
  18. **Finlayson, E. U. , Arasteh, D. K., Rubin, M. D., Sadlier, J, Sullivan, R., Huizenga, C., Curcija, D., and Beall, M.** "Advancements in Thermal and Optical Simulations of Fenestration Systems: The Development of WINDOW 5." *Proceedings of the Thermal Envelopes Conference VI*, Clearwater, Florida. 1995.
  19. **Curcija D., Power J. P., Goss W. P.** "CONRAD: A Finite Element Method Based Computer Program Module for Analyzing 2-D Conductive and Radioactive Heat Transfer in Fenestration Systems". *Draft Report*, University of Massachusetts at Amherst. 1995
  20. **Baehmann, P. L. [and other]**. Robust, Geometrically Based, Automatic Two-Dimensional Mesh Generation. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 1987. № 24, pp. 1043–1078.

## REFERENCES

1. **Veljkovic M., Johansson B., (2006).** Light steel framing for residential buildings. *Thin-Walled Structures*, №44, 1272–1279.
2. **Naji S., Çelik O. C., Alengaram U. J. [and other], (2014).** Structure, energy and cost efficiency evaluation of three different lightweight construction systems used in low-rise residential buildings. *Energy and buildings*. №84, 727–739.
3. ETA 13/0312. Kits para los Sistemas de fachada AQUAPANEL® WM111.C; WM211.C; WM311.C; WM411.C; WM111.G; WM211.G; WM311.G; WM411.G., **2013.** Kits para sistemas de paredes exteriores no portantes con paneles de origen mineral. *The Catalonia Institute of Construction Technology*, 85.
4. **Shamrina G., Khokhriakova D., Tymofieiev M. (2017).** Komplektnaya systema KNAUF na osnove cementnih plyt Aquapanel® Outdoor i perspektivy eye primeneniya v Ukraine, *Energoefektyvnist v budivnictvi ta arhitekture*, 9, 243-248 (in Russian).
5. **Khokhriakova D., Shamrina G., Dmytrochenkova E. (2018).** Vyznachennya techniko-ekonomichnyh pokaznykiv energoefektyvnyh zovnishnih karkasno-obshyvnyh stin z vykorystannyam plyt Aquapanel® Outdoor. *Ventylaciya, osvittleniya ta teplogazopostachannya*, 26, 75-82 (in Ukrainian).
6. **Pashinsky V, Pushkar N, Karyuk A, (2012).** Temperaturni vplyvi na ogorodzhualni konstruktsiyi budivel. *ODABA*,180 (in Ukrainian).
7. **Semko V, Leshchenko M., Krivirotko I. (2014).** Doslidzhennya teplovyh pokaznykiv ogorodzhualnyh konstruktsiy zi stalevyh tonkostynnyh profiliv bagatopoverhovih civilnyh budivel. // *Resursoekonomni materialy, konstrukcii, budivli ta sporudi. Zbirnik naukovih prac*, (29), 491-498 (in Ukrainian).
8. **Paulo Santos, Cla'udio Martins, Lui's Simões da Silva and Lui's Braganca (2013).** Thermal performance of lightweight steel framed wall: The importance of flanking thermal losses. *Article in Journal of Building Physics*. Vol: 38 issue: 1, 81-98.
9. **Thermal bridging atlas of steel construction for improved energy efficiency of buildings (2011).** (TABASCO). Grant Agreement RFSR-CT-2011-00028. Final report Directorate-General for Research and Innovation, European Commission.-. pp. 141.
10. **Garay R, Uriarte A, Apraiz I. (2014).** Performance assessment of thermal bridge elements into a full scale experimental study of a building façade. *Energy and buildings*, №85, 579–591.
11. **Semko V. O., (2016).** Metodika viznachennya ymovirnosti teplovoyi vidmovi ogorodzhualnyh konstruktsiy iz stalevyh holodnoformovanyh elementiv za teplotnichnymi pokaznikami. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie*, 91, 140 147 (in Ukrainian).
12. **Leshchenko M. V., (2016).** Teplova nadiynist stin iz legkyh stalevyh tonkostynnyh konstruktsiy: *avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tehn. nauk. : spets. 05.23.01*, 24 (in Ukrainian).
13. **Gervásio H., Santos P., Simões da Silva L. and A.M.G. Lopes., (2010).** Influence of thermal insulation on the energy balance for cold-formed buildings. *Advanced Steel Construction*, Vol. 6, No. 2, 742-766.
14. **Roque E and Santos P., (2017)** The Effectiveness of Thermal Insulation in Lightweight Steel-Framed Walls with Respect to Its Position. *Buildings*, 7, 13.
15. **Kontogeorgos D. A., Atsonios I. A., Mandilaras I. D., Founti M. A., (2016).** Numerical investigation of the effect of vacuum insulation panels on the thermal bridges of a lightweight drywall envelope. *Journal of Facade Design and Engineering*. Vol. 4 issue: 1-2, 3–18.
16. **Tenpierik M. J., Van der Spoel W. H., Cauber Johannes J. M.** Analytical Model for Computing Thermal Bridge Effects in High Performance Building Panels. URL: [http://www.researchgate.net/publication/242269808\\_Analytical\\_Model\\_for\\_Computing\\_Thermal\\_Bridge\\_Effects\\_in\\_High\\_Performance\\_Building\\_Panels](http://www.researchgate.net/publication/242269808_Analytical_Model_for_Computing_Thermal_Bridge_Effects_in_High_Performance_Building_Panels).
17. **Farenky G.G., Kolesnik E.S. (2008).** Vyznachennya linyinogo koeficientu teploperedachi termichno neodnorodnyh ogorodzhualnyh konstruktsiy. *Budivelni konstruktsii*, №1 (28), 138-147 (in Ukrainian).
18. **Finlayson, E. U , Arasteh, D. K., Rubin, M. D., Sadlier, J, Sullivan, R., Huizenga, C., Curcija, D., and Beall (1995).** Advancements in Thermal and Optical Simulations of Fenestration Systems: The Development of WINDOW 5." *Proceedings of the Thermal Envelopes Conference VI, Clearwater, Florida*.
19. **Curcija D., Power J. P., Goss W. P. (1995).** CONRAD: A Finite Element Method Based Computer Program Module for Analyzing 2-D Conductive and Radioactive Heat Transfer in Fenestration Systems. *Draft Report, University of Massachusetts at Amherst*.

20. **Baehmann, P. L. Wittchen, S.L., Shephard, M.S., Grice, K.R. and Yerry, M.A. (1987).** Robust, Geometrically Based, Automatic Two-Dimensional Mesh Generation. *International Journal for Nu-merical Methods in Engineer-ing*. 24, 1043 - 1078.

**Thermal performance of assembled systems of exterior wall using cement boards KNAUF AQUAPANEL® OUTDOOR**

*Tymofieiev Mykola, Shamrina Galina  
Khokhriakova Daria*

**Summary.** Assembled systems using Knauf AQUAPANEL® Cement Board Outdoor have obvious advantages. Thermal bridges, which are created by intensive use of steel in the system frame, can significantly reduce the thermal performance of the structure.

The research was aimed at determining the range of assembled systems application as exterior walls of buildings in Ukraine's climatic conditions. Numerical simulations of two-dimensional temperature field and heat flow rate were applied using THERM 7.5.

According to the constructive solution, four assembled systems were selected using the Knauf AQUAPANEL® Cement Board Outdoor with single-row and two-row arrangement of a solid

metal stud of the STEELCO company with a depth cross-section of 100, 150 and 200 mm and 400 mm post spacing.

The reduced heat transfer resistance was calculated based on the minimum requirements in accordance with GOST B.2.6-189: 2013, established when the required heat-insulating layer's thickness of the structure is determined. The thermal effects of linear thermal bridges, characteristic for selected structures, were considered - metal studs of the wall framework and jamb wall.

Based on the numerical simulations, linear thermal transmittance and reduced heat transfer resistance were determined for each assembled system and for each depth of cross-sections of the metal studs.

Based on the calculations the options of assembled systems that meet the minimum requirements have been specified

For civil buildings in the I temperature zone - assembled system 2, options with a depth of cross-section of metal stud 150 and 200 mm; in the II temperature zone, there is an assembled system 2, options with a depth of cross-section of metal stud 100, 150, 200 mm and an assembled system 3, option with a depth of cross-section of metal stud 200 mm.

**Keywords.** Reduced heat transfer; linear thermal transmittance; thermal bridges; assembled system; AQUAPANEL® Cement Board Outdoor