М.В. ТИМОФЄЄВ, канд. техн. наук, доц.

Київський національний університет будівництва і архітектури

Г.В. ШАМРІНА, Д. О. ХОХРЯКОВА, кандидати техн. наук, доценти

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЗБІРНИХ СИСТЕМ ЗОВНІШНІХ СТІН З ВИКОРИСТАННЯМ ЦЕМЕНТНИХ ПЛИТ КНАУФ AQUAPANEL® OUTDOOR ЗА УМОВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ

Мета. Визначення областей можливого застосування збірних систем зовнішніх стін із використанням цементної плити КНАУФ AQUAPANEL® Cement Board Outdoor на основі відповідності їх приведенного опору теплопередачі мінімальним нормативним вимогам України, що встановлюються при розрахунках енергоефективності будівель.

Методи дослідження. Чисельне моделювання двовірних температурних полів та теплових потоків з використанням програми THERM 7.5, аналітичні розрахунки енергетичних та теплотехнічних показників.

Наукова новизна. Обґрунтовано можливість застосування в кліматичних умовах України конструктивних рішень збірних систем зовнішніх стін з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® Cement Board Outdoor на основі системного принципу, що пов'язує теплотехнічні розрахунки окремої конструкції з розрахунками енергоефективності будівлі.

Практична значимість. Результати розрахунків чисельних значень лінійних коефіцієнтів теплопередачі збірних систем зовнішніх стін з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® Cement Board Outdoor і вузлових з'єднань для каркасно-монолітних будівель включені до змін в ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель». Зміна №1. Результати приведених у статті досліджень дозволяють значно спростити вибір конструкції зовнішніх стін з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® Cement Board Outdoor на стадії прийняття проєктних рішень.

Результати. Встановлено, що прийняті на основі європейської практики конструктивні рішення збірних систем зовнішніх стін з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® Cement Board Outdoor з найбільш типовими конструктивними елементами каркасно-монолітної будівлі можуть бути застосовані лише у промислових (сільськогосподарських) будівлях, оскільки їх приведені опори теплопередачі не відповідають вимогам ДБН В.2.6-31:2016, що встановлюються при розрахунках енергоефективності житлових і громадських будівель. При доробці найбільш тепловитратних вузлових з'єднань (примикання перекриття до зовнішньої стіни з неповним її обпиранням на залізобетонну плиту; примикання внутрішніх вертикальних конструкцій (колона) до зовнішньої стіни) можливе застосування в житлових і громадських будівлях з прогнозованим нормативним значенням рівня енергоефективності «С».

Ключові слова: приведений опір теплопередачі, лінійний коефіцієнт теплопередачі, збірні системи зовнішніх стін, плита КНАУФ AQUAPANEL® Cement Board Outdoor.

doi: 10.31721/2306-5435-2020-1-107-11-16

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Потенціалом підвищення енергоефективності є створення державою досконалої нормативно-правової бази, яка б стимулювала до енергозбереження. На утримання будівель в Україні приходить біля 40 % загального енергоспоживання. Тому серед основних напрямків впровадження політики підвищення енергоефективності є розробка та ефективна реалізація будівельних норм і правил, які встановлюють сучасні вимоги до енергоефективності будівель. За останній час в будівельних нормах України відбулося значне збільшення вимог до теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, але існує проблема недостатності в цих нормах даних для виконання теплотехнічних розрахунків, зокрема в ДСТУ Б В.2.6-189:2013 наводиться дуже обмежена кількість значень лінійних коефіцієнтів теплопередачі для вузлових з'єднань конструкцій різного типу і з різних матеріалів. Збірна система зовнішніх стін із застосуванням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® Cement Board Outdoor характеризується теплотехнічною неоднорідністю, яка визначається її конструктивними особливостями. Відсутність в нормативних документах України до 2019 року необхідних довідкових даних щодо лінійних коефіцієнтів теплопередачі у вузлових з'єднаннях для таких систем значно утруднювала розрахунки енергопотреб будівлі, могла призводити до помилок у визначенні показників енергоефективності, і таким чином, стримувала можливість широкого застосування збірних систем.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботах [1 - 4] розглянуто методичні та організаційні засади для рішення проблеми забезпечення енергоефективності об'єктів будівництва. Однак

вони розглядають лише стан проблеми на момент написання і не відображають останні зміни у нормативній базі України.

В існуючій науковій і довідковій літературі країн Європи [5 - 12], де є значний досвід використання подібних конструкцій, наводяться дані досліджень по визначенню лінійних коефіцієнтів теплопередачі та визначенню інших теплотехнічних показників для характерних вузлових з'єднань в будівлі. Однак ці дані неможливо застосовувати в нашій країні внаслідок більш жорстких кліматичних умов.

Останні дослідження авторів [13 - 15] присвячені теплотехнічним характеристикам оболонки будівлі та підвищення ефективності використання збірних систем зовнішніх стін з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® Cement Board Outdoor (далі – збірних систем зовнішніх стін 1 - 4), результати яких впроваджені в ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Зміна №1.

В дослідженні [15] для чотирьох варіантів збірних систем зовнішніх стін, що наведені в ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Зміна №1, в яких за конструктивним рішенням було прийнято однорядне та дворядне розташування металевих суцільних стоякових профілів компанії "STEELCO" з висотою перетину 100, 150 і 200 мм, було встановлено приведені опори теплопередачі та мінімальні температури в характерних для обраних варіантів конструкцій місцях теплопровідних включень. Враховувався термічний вплив лише тих теплопровідних включень, що є характерними особливостями обраних типів огорожувальних конструкцій, що за методикою ДСТУ Б В.2.6-189:2013 обираються при визначенні необхідної товщини теплоізоляційного шару. Це вплив металевих стійок каркасу стіни, які є містками холоду, а також місця стиків непрозорої частини стіни з вікном. Встановлено, що вказані теплопровідні включення значно знижують опір теплопередачі конструкції у порівнянні із термічно однорідною частиною стіни без урахування теплопровідних включень. Серед обраних варіантів збірних систем 1 – 4 виявлено ті, що відповідають мінімальним вимогам по приведеному опору теплопередачі для будівель різного призначення в I - й та II - й температурних зонах України.

Але для визначення відповідності мінімальним вимогам по приведеному опору теплопередачі при визначенні енергопотреб для опалення та охолодження згідно ДСТУ Б В.2.6-189:2013, тобто розрахунках енергоефективності будівель, потрібно врахувати також теплопровідні включення, що є характерними конструктивними особливостями всієї будівлі.

Найбільш поширеним способом зведення сучасних житлових та громадських будівель, де можуть застосовуватись збірні системи зовнішніх стін 1 - 4, є каркасно-монолітне будівництво. Тому для дослідження доцільно обрати характерні вузлові з'єднання, що є найбільш розповсюдженими в проєктній практиці для такого типу будинків.

Постановка завдання. Завданням дослідження є виявлення можливості застосування збірних систем зовнішніх стін 1 – 4 для будівель з каркасно-монолітною технологією будівництва. Для цього необхідно встановити відповідність їх приведеного опору теплопередачі мінімальним нормативним вимогам України, які висуваються згідно з ДСТУ Б В.2.6-189:2013 до огорожувальних конструкцій при розрахунках енергопотреб для опалення та охолодження, що потребує врахування термічного впливу теплопровідних включень, які є характерними з точки зору конструктивного рішення будівлі. Розрахунки приведеного опору теплопередачі за вимогами ДБН В.2.6-31:2016 потребують чисельного моделювання двовірних температурних полів та теплових потоків, і визначення лінійних коефіцієнтів теплопередачі в місцях вузлових з'єднань збірних систем 1 - 4 з найбільш характерними конструктивними елементами каркасно-монолітної будівлі. Такі найбільш типові вузлові з'єднання були обрані за рекомендаціями [7]: примикання цоколя до перекриття над підвалом, примикання цоколя до підлоги по ґрунту, примикання вікна до стіни, внутрішні кути, зовнішні кути, примикання перекриття до зовнішньої стіни з неповним її обпиранням на залізобетонну плиту, примикання парапету до покриття, примикання внутрішніх вертикальних конструкцій (колона) до зовнішньої стіни (рис. 1). Чисельне моделювання теплових потоків у вузлових з'єднаннях, обґрунтування вибору розрахункових ділянок для визначення лінійних коефіцієнтів теплопередачі і їх розрахунки виконувались за рекомендаціями ДСТУ В.2.6-189:2013 і ДСТУ ISO 10211-2:2005 з використанням програми THERM 7.5, тестування якої було проведено, аналогічно порядку, наведеному в дослідженні [15]. Попередньо проведені розрахунки значень приведених опорів теплопередачі дозволили у подальшому моделюванні горизонтальних вузлів обмежуватися ділянками стіни без стійок,

Рис. 1. Типові вузлові з'єднання для збірної системи 1: *a* - примикання цоколю до підлоги по ґрунту; *б* - примикання перекриття до зовнішньої стіни з неповним її обпиранням на залізобетонну плиту; *в* - примикання парапету до покриття; *г* - примикання вікна до стіни; *д* - примикання внутрішніх вертикальних конструкцій (колона) до зовнішньої стіни; *е* - внутрішні кути; *жс* - зовнішні кути

Розрахунки приведених опорів теплопередачі виконувались для фрагменту зовнішньої стіни з вікнами, що має найбільш типові для житлових будинків геометричні параметри. По вертикалі фрагмент обмежений несучими колонами будинку, по горизонталі знизу та зверху – плитами міжповерхового перекриття. Загальний вигляд фрагменту наведений на рис. 2.

Рис.2. Загальний вигляд фрагмента фасаду зовнішньої стіни

Викладення матеріалу та результати. Значення приведених опорів теплопередачі елементів теплоізолюючої оболонки будівлі є конкретною характеристикою конкретної будівлі, тому виконані далі розрахунки мають на меті оцінити окремі елементи на відповідність вимогам (4) ДБН В.2.6-31:2016 та (1) ДСТУ Б В.2.6-189:2013 співвідношення приведенного опору теплопередачі ($R_{\Sigma np}$) і нормативного значення опору теплопередачі ($R_{q min}$) у вигляді

$$R_{\Sigma np} \geq R_{q min}.$$

Розрахунки лінійних коефіцієнтів теплопередачі k вузлових з'єднань за рис. 1 і приведених опорів теплопередачі для обраного фрагменту зовнішньої стіни для збірних систем 1 - 4 (ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Зміна №1) наведені в зведеній табл. 1.

Таблиця 1

Зведена таблиця розрахунків лінійних коефіцієнтів теплопередачі k вузлових з'єднань і приведених опорів теплопередачі типового фрагменту конструкції збірних систем 1 - 4

Варіант стіни	Основне поле стіни, R_{Σ}	Лінійний коефіцієнт теплопередачі k							Приведений опір теплопередачі $R_{\Sigma np}$
		примикання цоколя до перекриття над підвалом	примикання цоколю до підлоги по ґрунту	внутрішні кути	зовнішні кути	примикання перекриття до зовнішньої стіни з неповним її обігрівом на залізобетонну плиту	примикання парапету до покриття	примикання внутрішніх вертикальних конструкцій (колона) до зовнішньої стіни	стіна для розрахунків енергоефективності
1-100	2,535	0,027	0,029	0,302	0,206	0,73	0,329	0,822	0,98
1-150	3,647	0,031	0,032	0,282	0,21	0,615	0,275	0,671	1,18
1-200	4,758	0,033	0,031	0,249	0,193	0,588	0,269	0,653	1,32
2-100	4,254	0,020	0,024	0,109	0,037	0,704	0,318	0,751	1,49
2-150	5,365	0,023	0,025	0,124	0,043	0,573	0,274	0,625	1,76
2-200	6,476	0,024	0,027	0,127	0,046	0,566	0,265	0,612	1,84
3-100	4,352	0,03	0,03	0,116	0,094	0,65	0,301	0,76	1,37
3-150	5,464	0,034	0,033	0,113	0,094	0,556	0,263	0,628	1,52
3-200	6,575	0,036	0,036	0,106	0,092	0,541	0,256	0,613	1,6
4-100	4,327	0,021	0,021	0,116	0,114	0,659	0,243	0,77	1,34
4-150	5,43	0,025	0,025	0,112	0,114	0,563	0,266	0,635	1,54
4-200	6,549	0,026	0,026	0,106	0,110	0,548	0,26	0,62	1,63

Оцінка відповідності нормативним вимогам ведеться з урахуванням п. 6.2.1 ДБН В.2.6-31:2016, де за умови виконання вимоги з енергоефективності будівлі в цілому, допускається застосовувати окремі конструктивні елементи теплоізоляційної оболонки із зниженими значеннями опору теплопередачі до рівня 75 % від $R_{q\ min}$ для непрозорих частин зовнішніх стін, який повинен бути не меншим за $2,48\ \text{m}^2\text{K/Вт}$ для I - ої температурної зони України та $2,1\ \text{m}^2\text{K/Вт}$ для II - ої температурної зони України.

Розрахунки приведеного опору теплопередачі обраного фрагменту збірних систем зовнішніх стін 1-4, що має найбільш типові конструктивні рішення для житлових і громадських каркасно-монолітних будівель, які виконуються згідно ДСТУ Б В.2.6-189:2013 при розрахунках показника енергоефективності цих будівель з урахуванням лінійних коефіцієнтів теплопередачі в місцях характерних конструктивних вузлових з'єднань будівлі, показали наступне.

1. Конструктивні рішення збірних систем з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® Cement Board Outdoor з прийнятими для розрахунку конструктивними рішеннями вузлових з'єднань не можуть бути прийняті у житловому і громадському будівництві, оскільки їх приведені опори теплопередачі не відповідають вимогам ДБН В.2.6-31:2016, що встановлюються при розрахунках енергоефективності цих будівель.

2. При доробці найбільш тепловитратних вузлових з'єднань і досягнення зменшення значень лінійного коефіцієнта для примикання перекриття до зовнішньої стіни з неповним її обпиранням на залізобетонну плиту до 0,3, а для примикання внутрішніх вертикальних конструкцій (колона) до зовнішньої стіни до 0,1, можливе застосування в житлових і громадських будівлях з прогнозованим нормативним значенням рівня енергоефективності «С»:

в I-ій температурній зоні України - збірної системи 2 з однорядним розташуванням стоякових профілів компанії "STEELCO" ПС 150/208/0,7 і ПС 200/208/0,7 з внутрішнім горизонтальним Z подібним профілем ПЗу-0,1 80/0,7 (варіанти 2-150 і 2-200).

в II-ій температурній зоні України - збірної системи 2 з однорядним розташуванням стоякових профілів компанії "STEELCO" ПС 100/208/0,7; ПС 150/208/0,7 і ПС 200/208/0,7 з внутрішнім горизонтальним Z-подібним профілем ПЗу-0,1 80/0,7 (варіанти 2-100, 2-150, 2-200); збірної системи 3 з двохрядним розташуванням стоякових профілів ПС200/208/0,7 і КНАУФ CW 75/50/0,6 без внутрішньої гіпсокартонної плити (варіант 3-200); збірної системи 4 з дворядним розташуванням стоякових профілів ПС200/208/0,7 і КНАУФ CW 75/50/0,6 з внутрішньою гіпсокартонною плитою (варіант 4-200).

Висновки та напрямки подальших досліджень. Конструктивні рішення зовнішніх стін збірних систем 1 - 4 з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® Cement Board Outdoor не відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.6-189 і ДБН В.2.6-31:2016, що встановлюються при розрахунках енергоефективності житлових (громадських) будівель, з урахуванням лінійних коефіцієнтів теплопередачі, які визначаються конструктивними особливостями всієї будівлі.

Для можливого використання збірної системи 2 з висотою перерізу стійкового профілю 150 мм та 200 мм в I-ій температурній зоні України та збірних систем 3 і 4 з висотою перерізу стійкового профілю 200 мм у II-ій температурній зоні України, як таких, що мають найбільш наближені до мінімально необхідних значення приведеного опору теплопередачі, необхідно виконання додаткових конструктивних проробок і теплотехнічних розрахунків з метою удосконалення конструктивних рішень найбільш тепловитратних вузлових з'єднань, якими є примикання стіни до колони та перекриттів з метою зменшення їх лінійних коефіцієнтів теплопередачі.

Список літератури

1. Тімченко Р. О. Нові підходи в проектуванні енергоефективних будівель / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, О. В. Шевчук, Л. В. Петрова // Вісник Криворізького національного університету. - 2012. - Вип. 31. - С. 95-99.
2. Толмачов С. Т. Аналіз основних показників енергоефективності в ДВНЗ "Криворізький національний університет" / С. Т. Толмачов, О. В. Ільченко, Д. В. Батраков, С. Л. Бондаревський, Ж. Г. Рожненко, Р. О. Пархоменко // Вісник Криворізького національного університету. - 2012. - Вип. 32. - С. 98-102.
3. Суртаєв В. В. Застосування конструкцій зовнішніх огорожень будівель з підвищеним теплозахистом / В. В. Суртаєв // Вісник Криворізького національного університету. - 2015. - Вип. 40. - С. 128-134.
4. Хорольський В. П. Енергобезпека підприємств промисловості і в будівництві / В. П. Хорольський, Д. В. Хорольський, М. О. Бабенко // Вісник Криворізького національного університету. - 2013. - Вип. 34. - С. 190-194.
5. Veljkovic M. Light steel framing for residential buildings / M. Veljkovic, B. Johansson // Thin-Walled Structures. - 2006. - №44. - Pp. 1272-1279.

6. **Naji S.** Structure, energy and cost efficiency evaluation of three different lightweight construction systems used in low-rise residential buildings / **S. Naji, O. C. Çelik, U. J. Alengaram** [and other] // *Energy and buildings*. – 2014. – №84. – Pp. 727–739.

7. 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.

8. Thermal performance of lightweight steel framed wall: The importance of flanking thermal losses/ Paulo Santos1 [and other]// *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.** Performance assessment of thermal bridge elements into a full scale experimental study of a building façade / **R. Garay, A. Uriarte, I. Apraiz** // *Energy and buildings*. – 2014. – №85. – Pp. 579–591.

11. Eduardo Roque and Paulo Santos. The Effectiveness of Thermal Insulation in Lightweight Steel-Framed Walls with Respect to Its Position * *Buildings* 2017, 7, 13.

12. **Kontogeorgos D. A.** Numerical investigation of the effect of vacuum insulation panels on the thermal bridges of a lightweight drywall envelope / **D. A. Kontogeorgos, I. A. Atsonios, I. D. Mandilaras, M. A. Founti** // *Journal of Facade Design and Engineering*. – 2016. – Vol. 4. issue: 1-2. – P. 3–18.

13. **Г.В. Шамрина** Комплексная система КНАУФ на основе цементных плит AQUAPANEL® Outdoor и перспективы ее применения в Украине / **Г.В. Шамрина, Д.А. Хохрякова, Н.В. Тимофеев** // *Енергоефективність в будівництві та архітектурі: наук.-техн. зб.* – 2017. – Вип. 9. – С. 243–248.

14. **Хохрякова Д.О.** Визначення техніко-економічних показників енергоефективних зовнішніх каркасно-обшивних стін з використанням плит AQUAPANEL® Outdoor / **Д. О. Хохрякова, Г.В. Шамрина, Е.І. Дмитроченко** // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. зб.* – 2018. – Вип. 26. – С. 75–82.

15. **Тимофеев М. В.** Теплотехнічні показники збірних систем зовнішніх стін з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor/ **М.В. Тимофеев, Г. В. Шамрина, Д. О. Хохрякова**, // *Slovak international scientific journal*. – 2020. – № 38, VOL.1. – Pp. 19–26

Рукопис подано до редакції 16.03.2020

УДК 681.5.08:622.412.13

М.О. АЛЕКСЕЄВ, д-р техн. наук, проф., О.В. ГОЛІНЬКО, магістрант
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ЧУТЛИВОСТІ ДАТЧИКІВ СТАЦІОНАРНИХ ТЕРМОКАТАЛІТИЧНИХ АНАЛІЗАТОРІВ МЕТАНУ

Мета. Підвищення надійності контролю вибухонебезпечності рудникової атмосфери та зменшення витрат на обслуговування стаціонарних аналізаторів метану за рахунок застосування автоматичної діагностики та корегування чутливості первинних перетворювачів стаціонарних термокаталітичних аналізаторів метану.

Методи дослідження. Для вирішення цього завдання використано: наукове узагальнення раніше виконаних досліджень; теоретичний аналіз газодинамічних і теплових процесів в термокаталітичних первинних перетворювачах аналізаторів метану; експериментальні дослідження зміни характеристик датчиків аналізаторів з подвійним дифузійним фільтром при зниженні чутливості термоелементів під впливом різних факторів.

Наукова новизна Полягає в розробці та обґрунтуванні нового метода автоматичного контролю та регулювання чутливості первинних перетворювачів стаціонарних аналізаторів метану, який полягає в аналізі зміни вихідних характеристик перетворювачів на ділянці виходу вихідної напруги вимірювального моста на горизонтальну частину (плато) характеристики при зміні величини струму через чутливі елементи.

Практичне значення. Теоретичні та експериментальні дослідження дозволили вдосконалити алгоритм і програму роботи стаціонарного аналізатора метану, реалізованого на базі мікропроцесора ATMEGA8, що дозволяє здійснювати автоматичний контроль і корегування чутливості первинних перетворювачів аналізаторів, шляхом управління електроживленням чутливих елементів перетворювачів та аналізу зміни їх вихідних характеристик.

Результати. Виконані дослідження дозволили обґрунтувати метод автоматичної діагностики стану стаціонарних термокаталітичних аналізаторів метану в частині автоматичного дистанційного контролю чутливості первинних перетворювачів. Показано, що при використанні сучасних мікропроцесорних засобів обробки інформації є можливість не тільки автоматично перевіряти стабільність чутливості первинних перетворювачів, а і здійснити корегування показань газоаналізатора при зміні чутливості. Для реалізації результатів досліджень розроблено алгоритм і програму роботи аналізатора з функцією автоматичного дистанційного контролю чутливості датчиків метану.

Ключові слова: вугільні шахти, вміст метану, контроль, аналізатор, автоматична діагностика, первинні перетворювачі, чутливість.