

СУЧАСНІ ЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВЛАШТУВАННЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ГРОМАДСЬКОЇ БУДІВЛІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Обґрунтовано актуальність проблем енергозбереження для об'єктів соціально-побутової сфери. Визначено перспективні напрямки проведення науково-технічних робіт для створення нових енергоефективних стінових виробів. Виконано розрахунково-аналітичні дослідження варіантів огороджувальних конструкцій на прикладі зовнішніх стін за умов виконання регламентованих показників будівельних норм. Представлено новий різновид стінових матеріалів для будівництва зовнішніх стін громадських будівель. Висвітлено основні властивості вакуумних стінових панелей і охарактеризовано перспективи їх використання.

Ключові слова: теплова ізоляція, термічний опір, огороджувальні конструкції, вакуумні стінові панелі.

Abstract

The relevance of energy saving problems for objects of the social and household sphere is substantiated. Prospective directions of scientific and technical work for the creation of new energy-efficient wall products have been determined. Computational and analytical studies of options for enclosing structures were carried out using the example of external walls, subject to compliance with the regulated indicators of building standards. A new type of wall materials for the construction of external walls of public buildings is presented. The main properties of vacuum wall panels are highlighted and the prospects for their use are characterized.

Keywords: thermal insulation, thermal resistance, fence structures, vacuum wall panels.

Серед існуючих об'єктів соціально-побутової сфери переважну більшість складають будівлі часів масової забудови. При їх проектуванні і будівництві використовувались за сучасними мірками дещо «застарілі» проектно-конструкторські рішення і вимоги щодо теплотехнічних характеристик елементів огороджувальних конструкцій. З результатів аналітичних досліджень відомо, що близько 82.6 % об'єктів міської забудови характеризуються показниками термічного опору елементів огороджувальних конструкцій в межах від 0,65 до 2,8 м²·К/Вт [1, 2]. Важливим є той факт, що згідно з вимогами ДБН 2.6-31:2021 на сьогодні для зовнішніх стін значення даного показника складає 4.0 м²·К/Вт для територій I кліматичної зони України і 3,5 м²·К/Вт для об'єктів, розташованих у II кліматичній зоні.

Економіка України в умовах війни з росією залежить від донорських надходжень ресурсів та допомоги з зарубіжних країн. На етапі втілення намірів реінтеграції нашої держави в товариство Євросоюзу було прийнято комплекс необхідних умов країн Європейської співдружності стосовно майбутнього членства у ЄС, серед яких є виконання директив по енергоефективності. В загальному переліку цих умов також є директива №2010/31/ЄС про енергетичну ефективність будівель і директива №2006/32/ЄС про ефективність кінцевого використання енергії. Таким чином комплексне вирішення проблем енергозбереження є надзвичайно важливими завданнями і відносяться до питань національної безпеки.

Одним із шляхів підвищення показників енергоефективності у структурі експлуатаційних витрат для громадських будівель є розробка і запровадження науково-технічних заходів з використанням сучасних будівельних матеріалів і інженерно-технологічних рішень. Серед значного переліку таких заходів важливим показником є покращення теплотехнічних параметрів огороджувальних конструкцій з метою підвищення термічного опору елемента будівлі, який межує з навколишнім середовищем. Одним з перспективних інженерно-технічних рішень є улаштування поліфункціональної огороджувальної конструкції з теплоізоляційним шаром по зовнішній поверхні площини фасаду. Для реалізації таких варіантів сучасних рішень як правило використовуються будівельні матеріали з мінімальним значенням коефіцієнта теплопровідності. В таблиці 1 наведено

результати розрахунково-аналітичних досліджень характеристик огорожувальних конструкцій для різних варіантів зовнішніх стін [3-5].

Таблиця 1.– Теплотехнічні характеристики стінових матеріалів.

| Характеристики стінового матеріалу | Вид стінового матеріалу | | | | | |
|---|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------|
| | керамзитобетон | цегла керамічна | цегла силікатна | цегла силікатна | вапняк-черепашник | газобетон |
| Середня густина, кг/м ³ | 1000 | 1400 | 1800 | 1400 | 1400 | 300÷600 |
| Теплопровідність, Вт/м·°C | 0,41 | 0,58 | 0,76 | 0,64 | 0,58 | 0,11÷0,16 |
| Розрахункові значення термічного опору (R_p) при товщині огорожувальної конструкції | | | | | | |
| – товщина стіни, м | 0,35 | 0,51÷0,62 | 0,51÷0,62 | 0,51÷0,62 | 0,4 | 0,375÷0,5 |
| – R_p , м ² ·°C/Вт | 1,02 | 1,04÷1,23 | 0,84÷0,98 | 0,96÷1,13 | 0,85 | 3,1÷4,5 |
| Товщина стіни, м, при нормованому значенні термічного опору (R_n , ДБН 2.6-31:2021), м ² ·°C/Вт | | | | | | |
| $R_n=3,50$ (I) | 1,44 | 2,03 | 2,66 | 2,24 | 2,03 | 0,39÷0,56 |
| $R_n=4,00$ (II) | 1,64 | 2,32 | 3,04 | 2,56 | 2,32 | 0,44÷0,64 |
| Маса м ² стіни (кг), при нормованому значенні термічного опору (R_n , ДБН 2.6-31:2021), м ² ·°C/Вт | | | | | | |
| $R_n=3,50$ (I) | 1440 | 2842 | 4788 | 3136 | 2842 | 117÷336 |
| $R_n=4,00$ (II) | 1640 | 3248 | 5472 | 3584 | 3248 | 132÷384 |

Наведені у таблиці 1 результати розрахунково-аналітичних досліджень засвідчують доцільність використання у якості теплозахисного елемента у складі багатошарової огорожувальної конструкції стінових виробів з газобетону. Однак наряду з високими теплотехнічними характеристиками даний матеріал має посередні показники фізико-механічних характеристик. Порівняно з традиційними стіновими матеріалами (бетон і цегла) стінові вироби з газобетону мають низькі параметри механічної стійкості під впливом навантажень. Отже для розробки теплоефективної конструкції зовнішніх стін є поєднання декількох шарів матеріалів з різними теплофізичними і фізико-механічними характеристиками.

Збільшення термічного опору стіни, виконаної з традиційних матеріалів (керамічна і силікатна цегла, керамзитобетон) вимагає збільшення товщини стін до 1,4...3,0 метра (табл. 1). Однак це призведе до значного збільшення маси конструкції стін до 1150...4500 кг/м² і в свою чергу вимагатиме підсилення конструкції фундаментів відповідно до обсягів навантаження. Такі інженерні рішення в подальшому негативно відобразяться на зростанні вартості будівельних об'єктів.

Одним із шляхів зменшення енергоспоживання громадських будівель є розробка раціональних конструктивних рішень огорожувальних конструкцій, які відповідають сучасним вимогам по теплозахисту, пожежної безпеки, санітарним нормам, надійності в експлуатації та довговічності. Вимоги будівельних норм стосовно теплоізоляції зовнішніх елементів будівель істотно змінюють підхід до вирішення цієї задачі.

Враховуючи сучасні вимоги до огорожувальних конструкцій згідно з регламентуючими характеристиками представленими в ДБН 2.6-31:2021, стає очевидним, що проектні рішення стосовно застосування конструкцій з використанням традиційних видів теплоізоляції (мінеральна вата, екструдований пінополістирол і інші) при великій товщині шару утеплювача будуть неефективним з технологічної точки зору. Шляхи вирішення такої проблеми можуть бути знайдені за допомогою створення і застосування нових більш ефективних способів утеплення будівель.

Серед різних варіантів улаштування багатошарових огорожувальних конструкцій будівель найближчі перспективи можуть полягати у підвищенні теплоізоляційного захисту та зниженні тепловтрат, які пов'язані з розробкою та використанням вакуумованих теплоізоляційних матеріалів нового покоління (наноматеріалів), у яких коефіцієнт теплопровідності на порядок нижчий, ніж у традиційних теплоізоляційних матеріалів. На сьогоднішній день відомі композитні матеріали, отримані на основі порожнистих вакуумованих керамічних тонкостінних мікросфер з показником теплопровідності, який не перевищує 0.00083 Вт/(м·°C). Виготовлений з використанням таких матеріалів шар покриття товщиною 1 мм по термоізоляційних властивостях еквівалентний товщинам 50 мм мінераловатної плити або 250 – 380 мм цегляної кладки. Використання таких матеріалів у

будівництві дозволяє збільшити корисну площу приміщення за рахунок зменшення товщини утеплювача, при цьому тепловтрати знижуються в 5-6 разів [4-6].

На основі технологічних рішень створення таких матеріалів було прийнято науково-технічні принципи створення вакуумної ізоляційної панелі (VIP), які базуються виключно на законах фізики, зміст яких полягає у тому, що відсутність або зниження тиску всередині пористого матеріалу призводить до зменшення показників його теплопровідності [6, 7].

Запропоновані до використання в проектних рішеннях тепло ізолювальні конструкції – вакуумні ізоляційні панелі виготовлені як багатошарова огорожувальна конструкція, що включає спеціальні заповнювачі відкритої пористої структури, технологічно скомпоновані в газонепроникній оболонці. Конструктивно-технологічна схема VIP-панелі складається з наступних компонентів:

- конструкційно-теплоізоляційний заповнювач для забезпечення виробу нормованих фізико-механічних параметрів та набування ним занижених теплопровідних властивості;
- повітронепроникний бар'єр, що забезпечує виробу стійкість до впливу водяних парів, які є у повітряних масах;
- екрануюча складова для поглинання і відбивання випромінювання теплового потоку.

Заповнювач забезпечує формування механічно-стійкої конструкції оболонки виробів і підтримує стінки, обмежує рух залишкових молекул газу та забезпечує задану форму панелі. За рахунок виключення вільного пробігу молекул газу (молекул повітря) забезпечується можливість зниження показників передачі теплоти через конвективну складову теплопровідності повітря. Для забезпечення проектних параметрів матеріал заповнювача повинен мати відкриту пористу структуру з дуже маленьким розміром пор та високою стійкістю до інфрачервоного випромінювання. Теплофізичні характеристики вакуумної ізоляційної панелі та термін її експлуатації визначаються властивостями заповнювача, початковим рівнем вакууму, проникністю газобар'єру, ефективністю адсорбентів, розмірами та умовами експлуатації.

Повітронепроникні бар'єри сучасних вакуумних ізоляційних панелей містять алюмінієву фольгу товщиною 3-10 мкм. Такі мікроекрануючі конструкції служать ізолюючим бар'єром для повітряних мас та водяних парів. Такий мікроекран одночасно є корпусом та оболонкою вакуумної панелі одночасно. Від характеристик цього матеріалу в значній мірі залежать теплозахисні властивості вакуумної панелі та її довговічність. З обох боків алюмінієвої фольги наносять тонкий шар пластику для збільшення механічної міцності, а на внутрішню поверхню – пластик з низькою температурою плавлення. При виготовленні панелі фольгу герметично запаюють під впливом температури та тиску. Такі екрануючі матеріали у вигляді бар'єрних конструкцій мають гарні ізолювальні характеристики. Основні фізичні характеристики вакуумних ізоляційних панелей наведені в таблиці 2 [3].

Таблиця 2. - Основні фізичні характеристики VIP-панелей

| Фізичний параметр | Одиниця виміру | Значення |
|------------------------|-------------------|-------------|
| Середня густина | кг/м ³ | 150-300 |
| Міцність при стисненні | кПа | 140-250 |
| Міцність при розтягу | кПа | 60 |
| Питома теплоємність | кДж/кгК | 800 |
| Теплопровідність | Вт/(м·К) | 0,002-0,007 |
| Термічна стійкість | °С | 80 |

Р. Бетенс та ін. [6-7] у своїх роботах досліджували ефективність чотирьох різних типів оболонок для вакуумних ізоляційних панелей: панель з металеві півки (AF-VIP), одношарова панель з металізованої півки (MF1-VIP) та дві багатошарові панелі з металізованої півки (MF2-VIP, MF2-VIP). Автори також провели вимірювання для різних значень товщини панелей. Загалом було визначено, що VIP з одинарної металеві фольги показали найгірші показники теплопровідності. Вакуумні ізоляційні панелі з багатошаровою алюмінієвою/полімерною оболонкою показали найкращі характеристики, тоді як одношарова металізована півка VIP мала гірші показники водо-, паропроникності та термін служби. Крім того, дослідження показало, що багатошарова оболонка VIP розміром 100×100 см зберігає значення теплопровідності 0,008 Вт/(м·К) після 60 років експлуатації, тоді як VIP розміром 50×50 см такого ж типу матиме приблизно 0,01 Вт/(м·К). Це вказує на вплив розміру панелі на її експлуатаційні характеристики. У таблиці 3 представлено результати дослідження показників теплопровідності вакуумних ізоляційних панелей

Таблиця 3. – Теплопровідність вакуумних ізоляційних панелей (Вт/(м·К)) залежно від матеріалу оболонки та товщини панелі [6, 7]

| Тип оболонки | λ_f , Вт/(м·К) | Товщина VIP | | | | | | | | |
|--------------|------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 5 мм | 10 мм | 15 мм | 20 мм | 25 мм | 30 мм | 35 мм | 40 мм | 45 мм |
| AF-VIP | 25 | 0,0760 | 0,0660 | 0,0583 | 0,0522 | 0,0473 | 0,0432 | 0,0397 | 0,0368 | 0,0343 |
| MF1-VIP | 0,38 | 0,0045 | 0,0028 | 0,0021 | 0,0016 | 0,0013 | 0,0011 | 0,0010 | 0,0009 | 0,0008 |
| MF2-VIP | 0,42 | 0,0049 | 0,0031 | 0,0023 | 0,0018 | 0,0015 | 0,0012 | 0,0011 | 0,0010 | 0,0009 |
| MF3-VIP | 0,90 | 0,0087 | 0,0059 | 0,0044 | 0,0036 | 0,0030 | 0,0025 | 0,0022 | 0,0020 | 0,0018 |

Застосування вакуумної ізоляційної панелі для забезпечення рівномірного теплового опору теплопередачі (R_0) дозволяє зменшити товщину теплоізоляційного шару в 6-10 разів порівняно з іншими матеріалами [7]. У таблиці 3 наведені порівняльні характеристики різних теплоізоляційних матеріалів.

Таблиця 3. – Порівняльні характеристики теплоізоляційних матеріалів [7]

| Теплоізоляційний матеріал | Товщина матеріалу, м | Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К) | Опір теплопередачі, R_0 , (м ² ·К)/Вт | Коефіцієнт теплопередачі, К, Вт/(м ² ·К) |
|---------------------------|----------------------|---------------------------------------|--|---|
| VIP | 0,046 | 0,0046 | 10 | 0,1 |
| Пінополіуретан | 0,28 | 0,028 | 10 | 0,1 |
| Полістирол | 0,30 | 0,030 | 10 | 0,1 |
| Мінеральна вата | 0,46 | 0,046 | 10 | 0,1 |
| Чиста бавовна | 0,48 | 0,048 | 10 | 0,1 |

Як видно з таблиці 3, для досягнення опору теплопередачі 10 (м²·К)/Вт слід застосовувати 46см мінеральної вати, в той час, як товщина вакуумної теплоізоляційної панелі буде лише 4,6см. Для забезпечення однакових теплових характеристик, використання системи вакуумної ізоляції дозволяє зменшити вагу теплоізоляційного шару в 2-6 разів.

Висновок

Отримані результати розрахунково-аналітичних досліджень підтверджують доцільність використання в будівництві вакуумні ізоляційні панелі. Новий різновид стінових виробів є високоефективним конструкційно-теплоізоляційним матеріалом з широким спектром переваг у порівнянні з традиційними матеріалами. Завдяки своїм унікальним тепло- повітроізоляційним характеристикам, вакуумні ізоляційні панелі мають великий потенціал для застосування у будівництві.

СПИСОК СИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- «Енергозбереження у житловому фонді: проблеми, практика, перспективи». Довідник. //Упорядники НДПроектреконструкція, Deutsche Energie-Agentur GmbH и Instituts Wohnen und Umwelt. –2006. – 138 с.
- [Електронний ресурс]. – Режим доступу:// <http://www.donoda.gov.ua/main/ua/news/detail/17532.htm>.
- Христич О. В. Заповнювачі будівельних сумішей з продуктів рециклінгу твердих неорганічних відходів [Текст] О. В. Христич, Л. М. Несен // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2022. – № 2. – С. 19-24.
- Сердюк В. Р. Організаційно-технологічні заходи термомодернізації застарілого житлового фонду [Текст] / В. Р. Сердюк, С. Ю. Франишина, Т. В. Сердюк, О. В. Христич // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2022. – № 2. – С. 6-17. 4.
- Baetens Retal. Vacuum insulation panels for building applications: a review and beyond. Energy and Buildings - 2010; 42(2):147–172.
- Kim J, Jang C, Song T-H. Combined heat transfer in multi-layered radiation shields for vacuum insulation panels: theoretical/numerical analyses and experiment. Applied Energy 2012; 94(0):295–302.
- Ghazi Wakili K, Stahl T, Brunner S. Effective thermal conductivity of a staggered double layer of vacuum insulation panels. Energy and Buildings 2011; 43(6):1241–1246.

Авдєєва Олена Дмитрівна – студентка групи Б-21мз факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: elena.avd1006@gmail.com.

Науковий керівник – **Христич Олександр Володимирович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця. Email: dockhristichv@i.ua.