УДК 699.86

С.В. Борова
О.О. Горюн
О.І. Хороша

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТРАДИЦІЙНИХ ТА ІННОВАЦІЙНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ У СУЧАСНОМУ БУДІВНИЦТВІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено традиційні та інноваційні теплоізоляційні матеріали, що використовуються в сучасному будівництві. Розглянуто основні характеристики мінеральної вати, пінополістиролу, PIR-плит, вакуумних теплоізоляційних панелей (VIP) та аерогелю. Проведено порівняльний аналіз матеріалів за показниками теплопровідності, вологостійкості, пожежної безпеки, експлуатаційних властивостей та особливостей застосування. Визначено переваги й обмеження традиційних та інноваційних рішень.

Ключові слова: теплоізоляція, теплоізоляційні матеріали, мінеральна вата, пінополістирол, PIR-плити, вакуумні теплоізоляційні панелі, аерогель, енергоефективність.

Abstract

This study examines traditional and innovative thermal insulation materials used in modern construction. It covers the key characteristics of mineral wool, expanded polystyrene (EPS), PIR boards, vacuum insulation panels (VIPs), and aerogel. A comparative analysis of these materials is presented, focusing on thermal conductivity, moisture resistance, fire safety, operational properties, and application specifics. The advantages and limitations of both traditional and innovative solutions are identified.

Keywords: thermal insulation, thermal insulation materials, mineral wool, expanded polystyrene, PIR boards, vacuum insulation panels, aerogel, energy efficiency.

Вступ

Підвищення енергоефективності будівель є одним із важливих завдань сучасного будівництва та реконструкції. Однією з основних причин тепловтрат будівель є недостатній теплозахист огороджувальних конструкцій, оскільки якість теплоізоляційного шару безпосередньо впливає на витрати на опалення та забезпечення комфортного мікроклімату приміщень. На сьогоднішній день є як перевірені часом традиційні (мінеральна вата, пінополістирол), так і інноваційні (аерогель, вакуумні теплоізоляційні панелі VIP, PIR-плити) матеріали. Кожен матеріал має власні експлуатаційні переваги, технологічні особливості та економічні обмеження.

Метою роботи є проведення порівняльного аналізу традиційних та інноваційних теплоізоляційних матеріалів, визначення їхніх основних експлуатаційних характеристик, переваг, обмежень та перспектив застосування в сучасному будівництві. Основними завданнями є: проаналізувати наукові публікації та державні норми різних варіантів утеплень; сформувати основні характеристики цих технологій; порівняти теплоізоляційні матеріали та узагальнити отримані дані.

Результати досліджень

До сучасних теплоізоляційних матеріалів належать PIR-плити, теплоізоляційні панелі (VIP) та аерогель, які характеризуються низьким коефіцієнтом теплопровідності й забезпечують високий рівень теплоізоляції за невеликої товщини. До традиційних теплоізоляційних матеріалів належать мінеральна вата та пінополістирол. Попри дещо вищі показники теплопровідності порівняно з високоефективними теплоізоляційними матеріалами, вони мають низку переваг, зокрема доступність, відносно невисоку вартість та відпрацьовані технології застосування.

Для наочного зіставлення ключових експлуатаційних параметрів розглянутих утеплювачів проведено порівняння за основними технічними та економічними критеріями. У наведеній нижче таблиці 1 узагальнено порівняльні характеристики найбільш поширених традиційних та інноваційних теплоізоляційних матеріалів, що дозволяє оцінити їхню ефективність та визначити оптимальні умови застосування в сучасному будівництві.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика традиційних та високоефективних теплоізоляційних матеріалів

№	Матеріал	Теплопровідність λ, Вт/(м·К)	Основні переваги	Недоліки та особливості
1.	Мінеральна вата	0,030-0,042	Низький коефіцієнт теплопровідності допомагає утримувати тепло взимку та зберігати прохолоду влітку. Це суттєво знижує витрати на опалення та кондиціонування приміщення [1]. Матеріалл належить до класу негорючих. Волокниста та пориста структура ефективно поглинає звукові хвилі. Матеріал характеризується високою паропроникністю, що сприяє виведенню водяної пари з конструкції за умови правильного проєктування її шарів та забезпечення належного температурно-вологісного режиму. Термін служби сягає 50 років. Матеріал не руйнується під дією агресивних середовищ [2].	При значному зволоженні теплоізоляційні властивості мінеральної вати можуть суттєво погіршуватися (за окремими оцінками — до 50–70%). Тривале перебування у вологому стані може спричинити деформацію матеріалу та погіршення його експлуатаційних характеристик. Для захисту теплоізоляційного шару від зволоження конструкція повинна передбачати відповідні парорегулювальні та гідровітрозахисні шари, розташування яких визначається її конструктивним рішенням. Більшість видів мінвати не витримують прямого навантаження, тому для утеплення стяжки підлоги або плоского даху потрібні спеціальні наджорсткі плити [1].
2.	Пінополістирол (EPS)	0,028-0,034	Коефіцієнт теплопровідності дозволяє використовувати меншу товщину шару для досягнення потрібного опору теплопередачі. Завдяки низькому водопоглинанню матеріал зберігає основні теплоізоляційні характеристики за умов підвищеної вологості, що зумовлює його широке застосування для утеплення фундаментів, цоколів та підлог по ґрунту. Плити мають низьку щільність і дуже легкі, що спрощує їх транспортування та підйом на висоту. Звичайний спінений пінополістирол є одним із найбільш бюджетних теплоізоляційних матеріалів на ринку, що дозволяє суттєво знизити загальний кошторис будівництва [3].	Пінополістирол належить до горючих полімерних теплоізоляційних матеріалів. Його застосування у фасадних системах потребує врахування вимог пожежної безпеки, передбачених нормативними документами, зокрема щодо конструкції системи, протипожежних розсічок та обмежень за умовами використання. Матеріал майже не пропускає водяну пару. Неправильний вибір товщини та розташування теплоізоляційного шару може призвести до зміни температурно-вологісного режиму конструкції, накопичення конденсату та створення умов для розвитку плісняви. Відкритий пінополістирол швидко руйнується під прямими сонячними променями, жовтіє та починає кришитися. Закрита жорстка комірчаста структура погано поглинає звукові хвилі та навіть може резонувати. Матеріал швидко розчиняється при контакті з ацетоном, бензином, уайт-спіритом, бітумними мастиками на розчинниках та деякими видами

				монтажних пін чи фарб [1].

Продовження таблиці 1

3.	PIR-плити	0,018-0,028	Коефіцієнт теплопровідності значно краще за показники мінеральної вати чи пінополістиролу. Це дає змогу використовувати вдвічі тонші плити для досягнення того ж опору теплопередачі та зберігати корисну площу приміщення. Матеріал практично не вбирає вологу. PIR-плити з фольгованим облицюванням характеризуються низькою паропроникністю та можуть виконувати функцію пароізоляційного шару за умови герметизації стиків. Під дією високих температур поверхня PIR може обвуглюватися з утворенням захисного шару, що сповільнює подальше термічне руйнування матеріалу. Показники пожежної безпеки залежать від характеристик конкретного виробу та його облицювання. Висока міцність на стиск спеціальних PIR-плит дозволяє використовувати їх у конструкціях підлог, експлуатованих плоских дахів та фундаментів за умови відповідності характеристик матеріалу розрахунковим навантаженням. Термін служби PIR-ізоляції становить 40–50 рр [4].	Матеріал у 2–3 рази дорожчий за мінвату та пінопласт аналогічної площі. Низька паропроникність фольгованих плит потребує ретельного опрацювання конструкції внутрішнього утеплення, зокрема щодо запобігання міжшаровій конденсації та забезпечення належної вентиляції приміщень. Жорстка структура погано гасить шум, наприклад, стукіт дощу по даху. Плити не повторюють нерівності стін, тому всі стики потрібно ретельно запінювати. Застосування у фасадних системах будівель із підвищеними вимогами до пожежної безпеки потребує відповідного конструктивного та нормативного обґрунтування. При внутрішньому утепленні стики обов'язково проклеюють алюмінієвим скотчем для захисту від конденсату [1].
4.	Аерогель	0,013-0,020	Шар завтовшки 10 мм замінює 25–40 мм мінвати або пінопласту, зберігаючи корисну площу приміщень. Понад 90% об'єму займає повітря, тому він майже не навантажує конструкції. Матеріал характеризується дуже низькою теплопровідністю та малою густиною. Завдяки цьому він дає змогу забезпечити високий термічний опір за невеликої товщини теплоізоляційного шару. Окремі види кремнеземного аерогелю мають високу температурну стійкість, яка може сягати +1200 °С без плавлення основи матеріалу. Водночас показники водопоглинання, паропроникності та температурної стійкості залежать від конкретного виду матеріалу й конструкції виробу. Композитні рулони легко повторюють складні вигини, арки й труби без «містків холоду». Утеплю-	Матеріал у десятки разів дорожчий за мінвату та пінопласт через складне виробництво. Чистий аерогель легко розсипається, тому в будівництві використовують лише армовані мати або сендвіч-панелі. Під час різання виділяється дрібний пил діоксиду кремнію, який подразнює шкіру та дихальні шляхи. Тонкий шар майже не захищає від повітряного шуму [1].

			вач не дає усадки, не гниє та не приваблює гризунів [5].	

Продовження таблиці 1

5.	Вакуумні теплоізоляційні панелі (VIP)	0,002-0,008	Завдяки дуже низькому коефіцієнту теплопровідності серцевини 20 мм VIP-панелі за теплотехнічними характеристиками можуть бути співставними зі значно товстішими шарами традиційних утеплювачів (орієнтовно 150–200 мм). Товщина шару в 5–10 разів менша за традиційні утеплювачі, що критично для балконів, терас та реставрації історичних будівель. Легка мікропориста серцевина мінімально навантажує перекриття та фундамент. Металізована оболонка повністю захищає ядро від води та пари. За умови цілісності оболонки термін служби в конструкціях становить 25–50 років [6].	Пошкодження герметичної оболонки призводить до порушення вакууму та суттєвого погіршення теплоізоляційних властивостей (у окремих випадках теплопровідність може збільшуватися у 3–5 разів). Це найдорожчий утеплювач у сучасному будівництві. Металізована оболонка по краях кожної панелі частково проводить тепло, що знижує загальну ефективність на стиках. Панель не пропускає пару, тому при внутрішньому утепленні потрібна якісна вентиляція. Для захисту від механічних пошкоджень використовують спеціальні захисні облицювання або VIP-сендвічі. Під час монтажу необхідно уникати проколювання та пошкодження герметичної оболонки панелей [1].

Примітка. Наведені значення коефіцієнта теплопровідності є орієнтовними та можуть змінюватися залежно від густини, структури, технології виробництва й умов експлуатації конкретного теплоізоляційного матеріалу. Для VIP-панелей зазначені значення стосуються переважно теплоізоляційної серцевини, тоді як ефективна теплопровідність готового виробу залежить також від конструкції оболонки та крайових зон.

Висновки

Отже, у результаті проведеного дослідження здійснено порівняльний аналіз традиційних (мінеральна вата, пінополістирол) та інноваційних (PIR-плити, аерогель, вакуумні теплоізоляційні панелі VIP) теплоізоляційних матеріалів у сучасному будівництві за показниками теплопровідності, паропроникності, вологостійкості, пожежної безпеки та особливостями монтажу.

Традиційні утеплювачі залишаються найбільш затребуваними в масовому будівництві завдяки доступній вартості, налагодженій технології монтажу та передбачуваній поведінці в конструкціях. Водночас вони мають певні функціональні обмеження: мінеральна вата чутлива до зволоження, що потребує належного захисту теплоізоляційного шару, а пінополістирол характеризується низькою паропроникністю та належить до горючих матеріалів, застосування яких у будівельних конструкціях має відповідати встановленим вимогам пожежної безпеки.

Проведений аналіз свідчить, що вибір теплоізоляційного матеріалу повинен ґрунтуватися не лише на значенні коефіцієнта теплопровідності, а й на врахуванні його вологостійкості, пожежної безпеки, механічних характеристик, довговічності та вартості. Традиційні матеріали, зокрема мінеральна вата та пінополістирол, залишаються раціональним рішенням для більшості типових будівельних конструкцій завдяки доступності та відпрацьованим технологіям застосування.

Водночас використання високоефективних матеріалів, таких як PIR-плити, аерогель та вакуумні теплоізоляційні панелі, є перспективним у випадках, коли необхідно забезпечити високий термічний опір за обмеженої товщини конструкції. Особливу практичну цінність вони можуть мати під час реконструкції будівель, утеплення складних конструктивних вузлів та об'єктів з обмеженим простором для влаштування теплоізоляції.

Таким чином, найбільш доцільним підходом є диференційований вибір теплоізоляційних матеріалів залежно від призначення конструкції, умов експлуатації, архітектурно-конструктивних

обмежень та економічної ефективності прийнятих рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 01-09-2022] Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2021. 28 с.
2. Інформація про переваги мінеральної вати. Режим доступу: URL: https://www.eos-klinkier.com.ua/ua/articles/preimushestva-mineralnoj-vaty-dlya-fasada.html
3. Інформація про переваги пінополістиролу. Режим доступу: URL: https://odessa.kub.in.ua/ua/shkola-remonta/uteplenie-penopolistirolom
4. Інформація про переваги PIR-плити. Режим доступу: URL: https://ukrstroyka.com.ua/ua/preimushchestva-i-nedostatki-teploizolyatsii-pir/
5. Інформація про переваги аерогелю. Режим доступу: URL: https://thermalin.com.ua/tpost/tc70i20j51-aerogel-teplozolyatsya-z-duzhe-nizkoyu-t
6. Інформація про перваги теплоізоляційних панелей VIP. Режим доступу: URL: https://hz-containers.com/uk/%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B8/%D0%B2%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%83%D0%BC%D0%BD%D1%96-%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%96%D0%B7%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96-%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BB%D1%96-vip-%D1%83-%D0%BA/

Борова Софія Віталіївна — студентка групи БМ-26м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: borovasophia@gmail.com

Горюн Олег Олегович – PhD, старший викладач кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет ORCID: 0000-0001-5678-835X, e-mail: oleggoriun@vntu.edu.ua

Хороша Оксана Іванівна – кандидат архітектури, доцент кафедри міського будівництва та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця; e-mail: korosha@vntu.edu.ua.

Borova Sophia - student of the BM-26m group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: borovasophia@gmail.com

Oleh Horiun – PhD, senior lecturer of the department of engineering systems in construction, faculty of construction, civil and environmental engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ORCID: 0000-0001-5678-835X, e-mail : oleggoriun@vntu.edu.ua

Khorosha Oksana – PhD, senior lecturer of department construction, urban and architectural Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia,; e-mail: korosha@vntu.edu.ua.