

УДК 699.86

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.140723.102.961

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТРУБОПРОВОДІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ АЕРОГЕЛЮ

СОКОЛАН Ю. С.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,
МАЙДАН П. С.², канд. техн. наук, доц.,
МАШОВЕЦЬ Н.С.³, канд. техн. наук, доц.

^{1*} Кафедра будівництва та цивільної безпеки, Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11, 29000, Хмельницький, Україна, тел. +38 (0382) 670-276, e-mail: sokolan.julia@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0273-5719

² Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем, Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11, 29000, Хмельницький, Україна, тел. +38 (0382) 670-276, e-mail: maidanps@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3319-8730

³ Кафедра архітектури та містобудування, Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11, 29000, Хмельницький, Україна, тел. +38 (0382) 670-276, e-mail: mashovetsns@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9181-5253

Анотація. Постановка проблеми. Досліджуються шляхи енергозбереження в будівлях, а саме відповідність нормативної бази європейським стандартам, можливостями зменшення теплових втрат під час транспортування енергоносіїв трубопроводами на прикладі систем теплопостачання та зменшення теплових втрат у процесі експлуатації будівель та споруд. Наведено представлені результати аналітичних досліджень різних теплоізоляційних матеріалів, що мають найпоширеніше застосування на території України. Деякі з наведених матеріалів неможливо застосовувати на конструкціях та трубопроводах складної конфігурації. Вирішення питання енергоефективності поряд із підвищенням звукоізоляційних властивостей, зменшенням пожежонебезпечності, зниження навантажень на несні конструкції будівель та споруд можливе за допомогою використання аерогелів як теплоізоляційного матеріалу. Матеріал характеризується низькою залежністю коефіцієнта теплопровідності від зміни температур навколишнього середовища, що робить його оптимальним для використання в жорстких експлуатаційних умовах. **Мета статті** – розглянути шляхи підвищення енергоефективності конструкцій та трубопроводів за допомогою сучасного утеплювального матеріалу аерогелю. **Висновки.** Аналітичними дослідженнями різних теплоізоляційних матеріалів встановлено, що аерогель у рулонному виконанні, окрім низького коефіцієнта теплопередачі, характеризується кращими експлуатаційними властивостями, а саме негорючістю матеріалу, екологічною безпечністю, малою вагою, що зменшує навантаження на конструкції, простотою монтажу, можливістю використання для конструкцій складної конфігурації, високим показником звукоізоляції.

Ключові слова: утеплення; енергоефективні рішення; аерогель; трубопроводи; зменшення теплових втрат; конструкції; теплоізоляція

WAYS TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF PIPELINES AND STRUCTURES USING AEROGEL

SOKOLAN Yu.S.^{1*}, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
MAIDAN P.S.², Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
MASHOVETS N.S.³, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

^{1*} Department of Construction and Occupational Safety, Khmelnytskyi National University, 11, Intytutska St., Khmelnytskyi, 29000, Ukraine, tel. +38 (0382) 670-276, e-mail: sokolan.julia@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0273-5719

² Department of Machines and Apparatus, Electromechanical and Energy Systems, Khmelnytskyi National University, 11, Instytutska St., Khmelnytskyi, 29000, Ukraine, tel. +38 (0382) 670-276, e-mail: maidanps@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3319-8730

³ Department of Architecture and Urban Planning, Khmelnytskyi National University, 11, Instytutska St., Khmelnytskyi, 29000, Ukraine, tel. +38 (0382) 670-276, e-mail: mashovetsns@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9181-5253

Abstract. Problem statement. The paper explores ways of energy saving in buildings, namely, the compliance of the regulatory framework with European standards, the possibilities of reducing heat losses during the transportation of energy carriers through pipelines on the example of heat supply systems and reducing heat losses during the operation of buildings and structures. The second part of the article presents the results of analytical studies of various heat-

insulating materials that are most commonly used in Ukraine. Some of these materials cannot be used on structures and pipelines of complex configuration. The issue of energy efficiency, along with improving sound insulation properties, reducing fire hazard, and reducing loads on the load-bearing structures of buildings and structures, can be addressed by using aerogels as a thermal insulation material. The material is characterized by a low dependence of the thermal conductivity coefficient on changes in ambient temperature, which makes it the best option for use in harsh operating conditions. **The purpose of the article** is to consider ways to improve the energy efficiency of structures and pipelines using modern aerogel insulation material. **Conclusions.** Having conducted analytical studies of various thermal insulation materials, it was found that aerogels in roll form, in addition to a low heat transfer coefficient, are characterized by better performance properties, namely non-flammability of the material, environmental safety, low weight, which reduces the load on structures, ease of installation, the possibility of using for structures of complex configuration, and a high rate of sound insulation.

Keywords: *insulation; energy-efficient solutions; aerogel; pipelines; heat loss reduction; structures; thermal insulation*

Постановка проблеми. У 2019 році в Україні за ініціативи Міністерства розвитку громад та територій України запроваджено національну базу даних енергетичних та експлуатаційних характеристик будівель. Однією з цілей роботи Мінрегіону стало планування енергоефективних заходів через формування середньострокових планів упровадження енергоефективних заходів для забезпечення максимального використання наявного потенціалу підвищення рівня енергоефективності будівель та уникнення повторних ремонтів, неправильної послідовності заходів тощо. [1].

Проблему енергоефективності житлового будинку, його утримання, ремонту і термомодернізації необхідно розглядати, в першу чергу, з тієї позиції, що будинок повинен забезпечувати створення штучного середовища для життя і діяльності людей, оскільки природне середовище не відповідає вимогам процесів життєдіяльності людей, їх соціальним та індивідуальним потребам. В усіх кліматичних районах України параметри зовнішнього середовища не відповідають параметрам внутрішнього мікроклімату, за яких забезпечуються комфортні умови перебування людини.

Зовнішні огороження будинку являють собою передусім бар'єр для створення відокремленого об'єму зі штучним мікрокліматом. Оскільки такі огороження розташовані на межі двох середовищ, у них безперервно відбуваються процеси перенесення теплоти, вологи і повітря. Такі

процеси мають активний вплив на параметри мікроклімату в приміщенні.

В умовах підвищення вартості й обмеженості запасів традиційних викопних енергоносіїв наразі надзвичайно важливою постала проблема зменшення енергоспоживання й енергозбереження в житлово-комунальному секторі України. Через стрімке зростання вартості комунальних платежів у населення виникає необхідність у реалізації різноманітних заходів, спрямованих на енергозбереження та капітальні ремонти мало- та багатоповерхових будинків.

Наразі основні зусилля направлені на спрощений підхід до створення енергоефективних рішень, тобто практично всі проблеми з енергозбереження вирішуються інженерними засобами, які спрямовані на підвищення коефіцієнта корисної дії встановленого в будинках устаткування та підвищення показників термічного опору огорожувальних конструкцій будинків. Це, як правило, встановлення металопластикових вікон, нарощування товщини теплової ізоляції стін, підлоги та даху, які додатково навантажують фундаменти.

Аналіз публікацій. Тепловтрати в будівлях відбуваються переважно у вигляді дисперсії тепла зовнішніми огороженням, що виникає і підсилюється з наростанням різниці температури повітря з внутрішнього і зовнішнього боку житла, а також у результаті посиленої інфільтрації зовнішнього повітря під тиском вітру внаслідок виникнення в забудові різних аеродинамічних ефектів.

Практика обстеження зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель тепловізорами свідчить, що шість будівель із десяти перевірених мають колосальні втрати тепла, переважно з причин недостатнього утеплення зовнішніх огорожень – фундаментів, стін, вікон, покриття [4].

Одним із сучасних методів оцінення теплових втрат у будівлях стала термографія з високою роздільною здатністю, яка дозволяє виявляти можливі вади всередині зовнішньої оболонки будівлі шляхом використання теплового зображення різних поверхонь споруди (рис. 1).

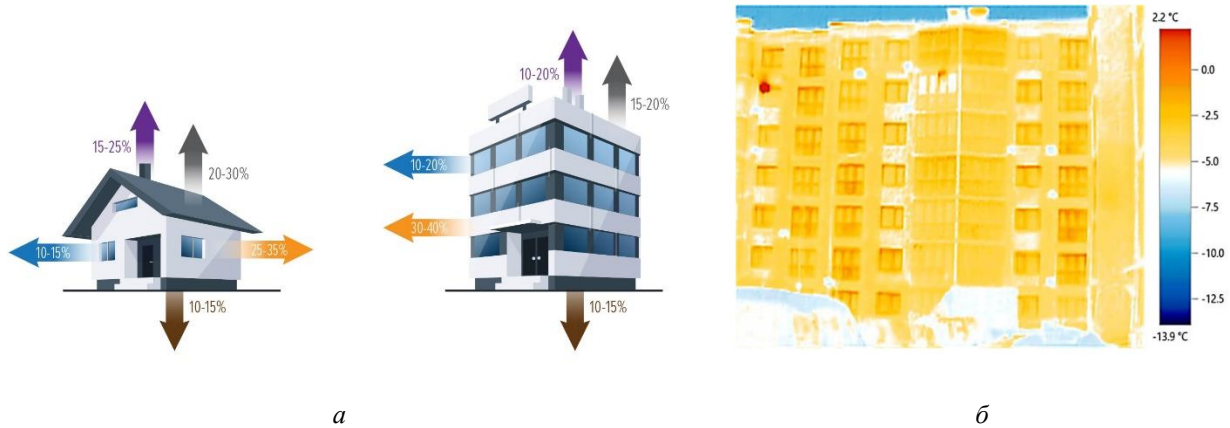


Рис. 1. Тепловтрати у приватному та багатоповерховому будинку: а – відносні тепловтрати; б – визначення тепловтрат за допомогою термографії

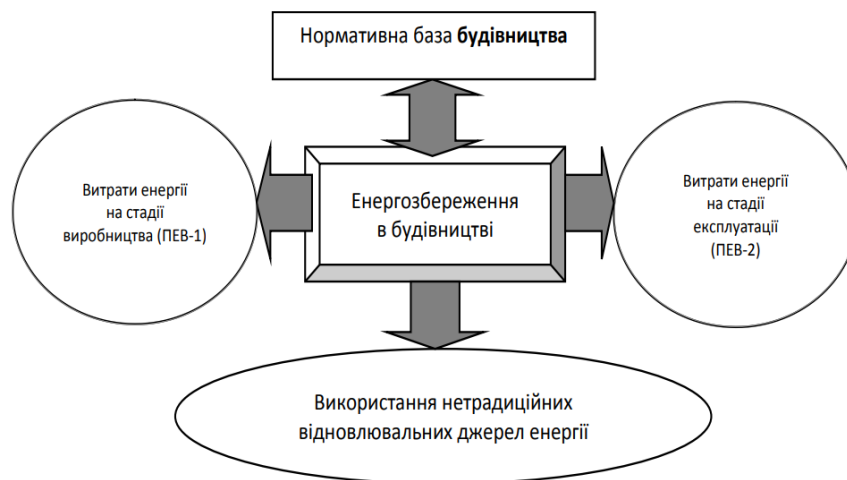


Рис. 2. Визначальні фактори енергозбереження в будівельній галузі

В. Р. Сердюк у своїй праці [5] виокремив основні причини високих втрат теплової енергії в житлово-комунальному секторі та окреслив основні напрямки їх скорочення (рис. 2).

Мета статті – розглянути шляхи підвищення енергоефективності конструкцій та трубопроводів за допомогою сучасного утеплювального матеріалу аерогелю.

Результати досліджень.

Вдосконалення нормативно-правової бази.

Першочерговим етапом удосконалення енергоефективних систем є вдосконалення відповідної нормативно-правової документації. Для вирішення проблеми надмірного енергоспоживання в Україні впроваджено будівельні норми, які висувають вищі вимоги до теплоізоляції споруд.

Загальні принципи забезпечення вимог Технічного регламенту будівельних конструкцій, будівель і споруд під час проектування та застосування конструкцій із фасадною теплоізоляцією в Україні регламентуються ДБН В.2.6-33:2018 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування [2]. В цьому нормативному документі наведено основні вимоги до проектування та забезпечення експлуатаційної придатності конструкцій із фасадною теплоізоляцією.

У свою чергу, технічні параметри із забезпечення енергетичної ефективності будівель, зменшення споживання енергії у будівлях відповідно до Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» визначені в ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція будівель [3]. Перша редакція цього нормативного документа датована 2006 роком, друга – 2016-м, остання та чинна на даний момент – 2021 роком.

У таблиці 1 наведено порівняння нормативних значень опору теплопередачі огорожувальних конструкцій в Україні [3; 7; 8].

Як видно з таблиці 1, в Україні спостерігається тенденція до збільшення мінімально допустимого значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій, що викликає підвищення енергоефективності будівель. В Україні прийнято використовувати показник термічного опору $R_{q \min}$ ($\text{м}^2\text{К}/\text{Вт}$), що є обернено пропорційною величиною до коефіцієнта теплопередачі, в той час як у західноєвропейських країнах нормування теплової ізоляції зовнішніх огорожувальних конструкцій здійснюється за показником коефіцієнта теплопередачі $U_{i(\max)}$ ($\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$). Після проведення математичних перетворень отримано значення коефіцієнта теплової передачі для зовнішніх огорожувальних конструкцій.

Таблиця 1

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будівель $R_{q \min}$ [3; 7; 8]

Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{q \min}$ $\text{м}^2\text{К}/\text{Вт}$, для температурної зони					
	2006 рік [7]		2016 рік [8]		2022 рік [3]	
	I	II	I	II	I	II
Зовнішні стіни	2,8	2,5	3,3	2,8	4,0	3,5
Суміщені покриття	-	-	6,0	5,5	7,0	6,0
Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів) та покриття мансардного типу	4,95	4,5	4,95	4,5	6,0	5,5
Горищні перекриття неопалюваних горищ	4,95	4,5	4,95	4,5	5,0	4,0
Перекриття над проїздами та неопалюваними підвалами	3,75	3,45	3,75	3,3	5,0	4,0
Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,6	0,56	0,75	0,6	0,9	0,7
Зовнішні двері	0,6	0,56	0,6	0,5	0,7	0,6

Для кращого розуміння тенденції зміни нормативної документації стосовно значення опору теплопередачі розраховано його приріст у відсотках від попереднього значення (табл. 2). Як видно з таблиці 2, майже для всіх видів огорожувальних конструкцій спостерігається позитивна тенденція, окрім горищних перекриттів неопалюваних горищ: для I кліматичного району мінімально допустимий термічний опір теплопередачі не змінився, а для II зменшився на 11 %.

У таблиці 3 наведено значення коефіцієнта теплопередачі України та, для порівняння, близької за кліматичними умовами Фінляндії. В результаті порівняння значень коефіцієнта теплопередачі для зовнішніх огорожувальних конструкцій, які встановлені в Україні з аналогічними значеннями, що діють у Фінляндії, видно, що максимально допустимі значення коефіцієнта теплопередачі в Україні майже вдвічі нижчі за норматив Фінляндії та рівень інших країн Європи.

Хоча кліматичні умови європейських країн більш сприятливі, ніж в Україні, показники термічного опору огорожувальних конструкцій значно вищі. Крім того, прийнята Директива ЄС 2010/31/EU «Про енергозабезпечення будівель» регламентує поетапне посилення

значень коефіцієнта теплопередачі для усіх зовнішніх огорожувальних конструкцій. Значення коефіцієнта теплопередачі зовнішніх стін будівель в Європейському Союзі має бути встановлена на рівні $0,20 \text{ Вт/м}^2\text{К}$; ($R = 5,00 \text{ м}^2\text{К/Вт}$) для будівель, побудованих після 1 січня 2021 року [9].

Таблиця 2

Тенденції зміни мінімально допустимих значень опору теплопередачі огорожувальних конструкцій

Вид огорожувальної конструкції	Приріст мінімально допустимого значення опору теплопередачі з 2016 по 2022 рік, %	
	I	II
Зовнішні стіни	21	25
Суміщені покриття	16	9
Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів) та покриття мансардного типу	21	22
Горищні перекриття неопалюваних горищ	1	-11
Перекриття над проїздами та неопалюваними підвалами	33	21
Світлопрозорі огорожувальні конструкції	20	16
Зовнішні двері	16	20

Таблиця 3

Порівняльні показники максимально допустимих значень коефіцієнта теплопередачі для зовнішніх огорожувальних конструкцій

Вид огорожувальної конструкції	Україна				Фінляндія Значення коефіцієнта теплопередачі $U_{i(max)}$ Вт/($\text{м}^2\text{К}$)
	Значення коефіцієнта теплопередачі $U_{i(max)}$ Вт/($\text{м}^2\text{К}$) для температурної зони				
	2016 рік		2022 рік		
	I	II	I	II	
Зовнішні стіни	0,3	0,357	0,24	0,28	0,17
Суміщені покриття	0,16	0,18	0,13	0,14	0,09
Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів) та покриття мансардного типу	0,2	0,22	0,16	0,17	–
Горищні перекриття неопалюваних горищ	0,2	0,2	0,16	0,16	0,17/0,16
Перекриття над проїздами та неопалюваними підвалами	0,266	0,3	0,21	0,24	–
Світлопрозорі огорожувальні конструкції	1,33	1,66	1,05	1,31	1,0
Зовнішні двері	1,66	2,0	1,31	1,58	1,0

Перспектива використання аерогелю.

Один із найбільш вагомих напрямків зниження енерговитрат будівлі – це підвищення термічного опору зовнішніх огорожувальних конструкцій. Вимоги щодо теплозахисту будівель і споруд у повній мірі стосуються і віконних елементів, оскільки вони основна причина тепловтрат. Типові дерев'яні вікна займають 20–25 % загальної площі фасаду будинку (середньостатистичний показник) і є причиною втрат близько 40 % теплової енергії. Поряд із цим, віконні системи

одночасно являють собою основне джерело надходження теплової енергії в будівлю за рахунок сонячної радіації, а тому потребують особливого підходу в енергозабезпеченні будівлі порівняно з іншими зовнішніми конструктивними елементами [6].

Найбільш поширені матеріали для утеплення конструкцій в Україні – пінопласт, екструдований пінополістирол, напилений пінополіуретан, піноскло, мінеральна вата, скловолокно, керамзит, листові пробки, целюлозна вата.

У виборі утеплювача окрім коефіцієнта теплопровідності враховується ще низка характеристик, а саме: об'ємна вага, горючість, водопоглинання, сорбційна вологість, пароізоляційні властивості, звукоізоляція, екологічність, довговічність, повітропроникність.

Оптимальний вибір матеріалу для утеплення конструкцій передбачає забезпечення низького коефіцієнта теплопровідності за мінімально можливою об'ємною вагою з метою зменшення навантаження на фундамент. За підрахунками Держенергоефективності, проведення комплексної термомодернізації житлових будинків дозволить заощадити до 50 % енергії, що споживається нині.

Для 9-поверхового будинку з площею утеплення фасаду $\sim 1\,500\text{ м}^2$ вага тільки підсистеми для зовнішнього утеплення «вентильований фасад» складе ~ 15 тис. кг наповнення мінераловатними плитами щільністю 100 кг/м^3 і товщиною 50 мм, кріплення до стіни за допомогою клею (витрата – $3,5\text{ кг/м}^2$) і дюбелів додасть ще $\sim 12,7$ тис. кг, а саме легке облицювання, вініловий сайдинг, важить приблизно 3,5 тис. кг. Все разом навантаження на фундамент збільшиться більш ніж на 31 тис. кг [6].

На сучасному етапі розвитку енергозберігальних технологій широкого використання знайшовся такий клас матеріалу як аерогель. Аерогель – це широкий термін, який використовується для позначення групи матеріалів, що мають особливу форму високопористого матеріалу з дуже високою пористістю та дуже низькою густиною, низькою теплопровідністю та високою прозорістю. Виготовлення аерогелю являє собою заміну рідкого компонента вологого гелю повітрям [11]. Він складається з окремих нанорозмірних частинок, які об'єднані між собою та утворюють тривимірну сітку.

Найбільш поширені кварцові аерогелі. Їх мінімальна густина становить 1 кг/м^3 (вакуумована версія), що в 1 000 разів менше густини води і навіть в 1,2 раза менше густини повітря. Завдяки

надзвичайно низькій теплопровідності ($\approx 0,017\text{ Вт/м К}$ в повітрі за атмосферного тиску), яка менша теплопровідності повітря ($0,024\text{ Вт/м К}$), вони використовуються в будівництві як теплоізоляційні матеріали. Температура плавлення кварцового аерогелю становить $1\,200\text{ }^\circ\text{C}$.

В даний час силіконовий аерогель відомий як найкращий матеріал для ізоляції. Пористість аерогелю становить $80 \sim 99,8\%$, а діаметр пор в аерогелі менший, ніж середня довжина вільного пробігу молекул повітря, тому молекули повітря в аерогелі перебувають практично в статичному положенні, що дозволяє уникнути повітряної конвекції, яка спричинює розсіювання тепла. Мала густина та наносітчаста структура шляху розсіювання в аерогелі також ефективно зупиняють теплове випромінювання як в самому матеріалі, так і через повітряні шляхи. Крім того, велика кількість стінок пор в аерогелі може зменшити теплове випромінювання до мінімуму.

Можна зробити висновок, що вони практично блокують усі шляхи теплового випромінювання, що робить аерогель найкращим теплоізоляційним матеріалом порівняно з іншими теплозахисними покриттями.

Аерогель набув широкого використання:

1. Утеплення будівельних конструкцій. Зовнішнє утеплення стін будівлі, яке запобігає промерзанню фасаду та збільшує строк служби конструкції. Внутрішнє утеплення стін із використанням аерогелю зсередини дозволяє максимально зберегти площу приміщення, що утеплюється, за рахунок малої товщини теплоізоляції.

2. Теплоізоляція внутрішніх та зовнішніх кутів приміщень, усунення промерзання стін. Ізоляція внутрішніх кутів будівлі чи квартири аерогелем дозволяє уникнути промерзання стін та випадіння конденсату, що нерідко викликає утворення плісняви та грибка. Зовнішні кути підлягають впливу опадів у вигляді дощу та снігу, а аерогель ефективно

використовується як захист від цього впливу.

3. Теплоізоляції підлоги під стяжку. Аерогель використовується як теплоізоляція підлоги. За рахунок малої необхідної товщини ізоляції дозволяє суттєво зменшити висоту бетонної стяжки. Завдяки низькому коефіцієнту теплопровідності аерогель у разі теплоізоляції підлоги досягає тих самих показників, що й інші матеріали за товщини в 2,5 раза більше.

4. Утеплення дверних та віконних отворів. Принцип утеплення аерогелем віконних та дверних отворів аналогічний до утеплення фасадів, але, крім того, аерогель може застосовуватись замість EPDM гуми у віконних профілях.

5. Шумоізоляція та звукоізоляція стін. Завдяки своїй структурі аерогель володіє

унікальними акустичними властивостями. Низька швидкість поширення звуку в аерогелях (до 100 м/с) дозволяє використовувати його як звукоізоляційний матеріал.

6. Ізоляція димоходів, вентиляційних каналів, теплоізоляція трубопроводів, арматури та фітингу.

Аерогель володіє більш стабільними характеристиками за зміни температурних умов його застосування. На рисунку 3 наведено порівняння кривих зміни теплопровідності залежно від температури для скловолкна, керамічного волокна, мінерального волокна та аерогелю. Теплопровідність аерогелю збільшується за збільшення температурних умов його використання (табл. 4).

Таблиця 4

Теплопровідність аерогелю за різних температур

Температура, °С	<25	100	200	300	400	450	500	650
Теплопровідність, Вт/(м·К)	0,018	0,021	0,025	0,034	0,045	0,050	0,051	0,062

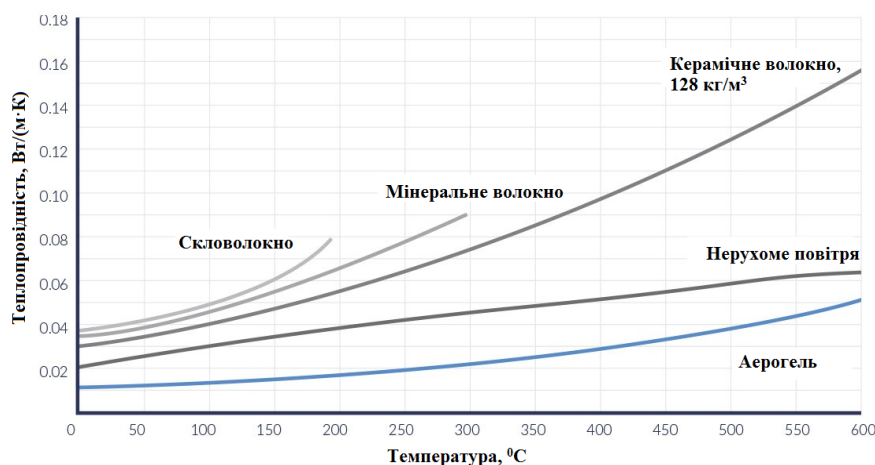


Рис. 3. Порівняння зміни теплопровідності матеріалів залежно від температури

У праці [10] автори порівняли основні характеристики поширених матеріалів, які використовуються для утеплення фасадів будівель в Україні. Установлено, що пінополіуретан, пінополістирол, скловата, базальтова вата виділяють токсичні речовини, не цілком безпечні для людини, а для монтажу потребують додаткового обладнання та захисту фахівців.

Піноскло, ековата та базальтова вата – найбільш оптимальні за теплотехнічними, експлуатаційними, фізико-механічними властивостями.

Слід урахувати, що не всі теплоізоляційні матеріали, проаналізовані в статті [10], придатні для утеплення трубопроводів. У таблиці 5 наведено порівняння характеристик теплоізоляційних матеріалів з аерогелем.

Аерогель у більшості випадків виготовляється в рулонному виконанні різної товщини, тобто утеплювач на початковому етапі має високу гнучкість (на відміну від пінопласту) та може використовуватись для утеплення конструкцій складної форми та конфігурації. Утеплення фасадів аерогелем виконується за типовою технологічною

картою (ТТК) виготовлення зовнішньої теплоізоляції будівель з тонкою штукатуркою по утеплювачу [12]. У ТТК визначено сферу застосування, технологію та організацію виконання робіт, вимоги до якості та прийомки робіт, техніку безпеки виконання робіт, потребу в ресурсах та техніко-економічні показники.

Таблиця 5

Порівняльні характеристики теплоізоляційних матеріалів

Матеріал	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	Густина, г/м ³	Водопоглинання, %	Коефіцієнт паропроникності, мг/(мчПа)	Сорбційна вологість, %	Горючість	Звукоізоляція	Довговічність, років
Пінопласт	0,036–0,04	15–35	1	0,05	1	Горіння не більше 3 секунд, виділяє смертельно небезпечні отрути	посередня	5–15
Екструдований пінополістирол	0,030–0,035	32–52	0,4	0,005	0,1–0,3	Тільки за впливу полум'я	середня	15–35
Пінополіуретан, що напиляється	0,020–0,032	20–200	1-2	0,05	0,2–0,5	Тільки за впливу полум'я, виділяє смертельно небезпечні отрути	посередня	15–50
Піноскло	0,048–0,059	15–32	0,3	0,001–0,006	0,001–0,006	негорючий	непогана	>30
Мінеральна вата	0,040–0,048	50–300	16–20	0,3–0,6	–	негорючий	висока	15–30
Аерогель	0,018–0,062	1–150	–	–	0,05	негорючий або класи A2, B2, C2	висока	>30

Окрім високих технологічних характеристик, процес утеплення конструкцій з аерогелю достатньо простий і складається з таких етапів.

1-й етап являє собою підготовку та зберігання. Ізоляційні матеріали на основі аерогелю повинні зберігатись у сухому та чистому приміщенні, захищеному від впливів зовнішнього середовища.

2-й етап полягає у підготовці зони різання полотна. Ця зона буде використовуватись для розрізання цільних рулонів матеріалу на основі аерогелю на шматки довжини, необхідної для його нанесення, або на пластини заданої форми.

Вона повинна міститись у захищеному приміщенні під дахом.

3-й етап – підготовка зони монтажу. Після нарізання матеріалу та доставки його в зону монтажу необхідно переконатись, що він накритий та захищений від впливів погодних умов. В ідеальному випадку слід розміщувати матеріал максимально близько до зони монтажу.

Монтаж починається з прикріплення переднього краю ізоляційного матеріалу на основі аерогелю за допомогою приварних голок для ізоляцій. Ізоляційний матеріал кріпиться скобами по площі ємності, резервуара або поверхні фасаду.

Приварні голки в кінцевій точці притискаються та закріплюються скобами. По контуру встановлюється бандаж для додаткового кріплення.

Аерогель може використовуватись не тільки для утеплення фасадів, а й для

утеплення трубопроводів, комунікацій, фітингів, вентиляційних каналів, тощо. У разі використання аерогелю для утеплення трубопроводів труби можна утеплювати в один, два або декілька шарів (рис. 5).



а



б

*Рис. 4. Типова технологія утеплення аерогелем:
а – зберігання в рулонах; б – монтаж та кріплення скобами*



Рис. 5. Утеплення трубопроводів аерогелем

Процес утеплення починається так само з відрізання матеріалу, причому довжина може визначатися або замірами діаметра труби, або звичайним обгортанням шматка матеріалу навколо труби. Матеріал обгортається навколо труби, кріпиться спеціальними голками та фіксується за допомогою стрічок, дротів або бандажа.

На рисунку 6 показано порівняння товщини різних теплоізоляційних матеріалів під час утеплення трубопроводів для забезпечення однакового коефіцієнта теплопровідності.

В Україні готову продукцію з аерогелю можна поділити на два типи:

1) Технічна рулонна теплоізоляція товщинами 3, 5, 6 і 10 мм. Це теплоізоляція

для криогенних об'єктів теплоізоляції з температурою застосування від -260°C , а також для «гарячих» виробництв та протипожежного захисту промислових об'єктів з температурою застосування до $+1\ 000^{\circ}\text{C}$.

Така теплоізоляція поставляється у рулонах шириною 1 400–1 500 мм. Вартість такої теплоізоляції наведена у таблиці 6.

2) Технічна теплоізоляція у вигляді рідкої пасти, яка наноситься там, де складні геометричні поверхні виключають застосування рулонної теплоізоляції з температурою застосування до $+1\ 400^{\circ}\text{C}$ або як доповнення до рулонної теплоізоляції. Така теплоізоляція поставляється у герметичній тарі 16–20 кг [13].

Вартість аерогелю [13]

Марка	Pyrogel XT		Cryogel®Z	
Товщина, мм	5	10	5	10
Вартість, грн за 1 м ²	1 783,45	2 591,98	2 144,02	2 774,46

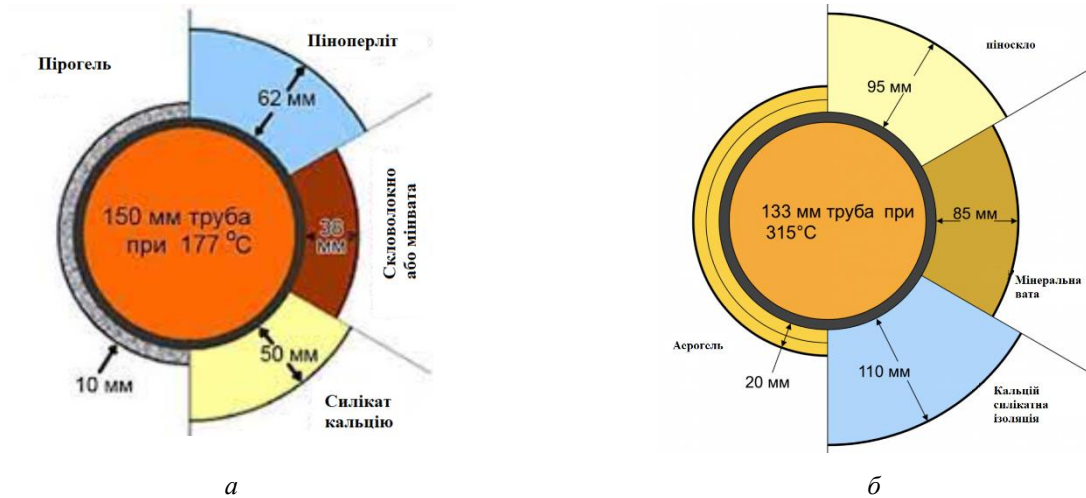


Рис. 6. Порівняння товщини теплоізоляції з різних матеріалів:
 а – 150 мм труба за 177 °С; б – 133 мм труба за 315 °С

Як видно з порівнянь характеристик теплоізоляційних матеріалів, для аерогелю характерне підтримання відносно постійного коефіцієнта теплопередачі за зміни температур зовнішнього середовища, а також порівняно низька ціна, що у поєднанні із простотою монтажу робить аерогелеві теплоізоляційні матеріали перспективними напрямками підвищення енергоефективності об'єктів.

Висновки.

У зв'язку з розвитком технологій утеплення конструкцій та трубопроводів із використанням різноманітних теплоізоляційних матеріалів відбулися зміни у державному регулюванні мінімальних показників енергоефективності будівельних об'єктів. Тому актуальним завданням наразі

стало вдосконалення нормативної бази у сферах будівництва та підвищення енергоефективності об'єктів на етапі проектування, забудови, експлуатації та реконструкції.

Аналітичними дослідженнями різних теплоізоляційних матеріалів встановлено, що аерогель у рулонному виконанні окрім низького коефіцієнта теплопередачі характеризується кращими експлуатаційними властивостями, а саме негорючістю, екологічною безпечністю, малою вагою, що зменшує навантаження на конструкції, простотою монтажу, можливістю використання для конструкцій складної конфігурації, високим показником звукоізоляції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Національна база даних енергетичних та експлуатаційних характеристик будівель : Середньострокові плани впровадження енергоефективних заходів для будівель 12 ОДА. URL : <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diynalnosti/energoefektivnist-ta-energozberezhennya/energetichna-efektivnist-budivel/> (дата звернення: 04.10.2022).
2. ДБН В.2.6-33:2018. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги проектування. Київ : Мінрегіон України, 2018. 20 с.
3. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ : Мінрегіон України, 2022. 27 с.

4. Гетун Г. В., Кошева В. О., Гамоцький Р. О., Гончаренко А. В. Оцінка тепловтрат житлового будинку ЖК «Арт-Квартал Співоче». *Управління розвитком складних систем*. № 42. 2020. С. 82–92.
5. Сердюк В. Р., Франишина С. Ю. Енергозбереження в будівництві – вимога сьогодення. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. № 4. 2009. С. 17–21.
6. Сердюк В. Р., Сердюк Т. В., Франишина С. Ю. Удосконалення огорожуючих конструкцій як джерело зниження теплових витрат сучасної будівлі. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2019. С. 153–159.
7. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель. Київ : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. 73 с.
8. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 37 с.
9. Нові вимоги до енергоефективності будівель в Україні та ЄС. Температурні зони України, порівняння та оцінка : веб-сайт. URL: <https://www.maximuscentr.com.ua/temperaturni-zony-ukrainy> (дата звернення: 04.10.2022).
10. Babiy I. N., Zalogina A. S., Kucherenko L. V., Sokolan Yu. S., Rabczak S. Comparative characteristics of modern thermal insulation technologies of buildings. *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*. Vol. XXXVIII, iss. 68. 2021. Pp. 17–25.
11. Melita L., Croitoru C. Aerogel, a high performance material for thermal insulation – a brief overview of the building applications. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 111, iss. 06069. Pp. 1–9.
12. Типовая технологическая карта. Производство наружной теплоизоляции зданий с тонкой штукатуркой по утеплителю. URL : https://www.zavodsz.ru/files/gost/TTK_%20Proizvodstvo%20naruzhnoj%20teploizolyaczii%20zdaniy.pdf (дата звернення: 04.10.2022).
13. Аерогельна теплоізоляція для промисловості. URL : <https://est-est.prom.ua/ua/g24123390-aerogelnaya-teploizolyatsiya-dlya> (дата звернення: 04.10.2022).

REFERENCES

1. *Nacionalna baza danyh energetychnyh ta ekspluatatsiynih charakterystyk budivel : Seredniostrokovi plany vprovadzhennia energoefektyvnyh zahodiv dlia budivel 12 ODA* [National database of energy and performance characteristics of buildings : Medium-term plans for implementation of energy efficiency measures for buildings of 12 RSA.]. URL : <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/energoefektivnist-ta-energozberezhennya/energetichna-efektivnist-budivel/> (date application: 04.10.2022). (in Ukrainian).
2. *DBN B.2.6-33:2018. Konstruktsii zovnishnih stin iz fasadnoiu teploizolatsieiu. Vymogy proektuvannia* [SCN B.2.6-33:2018. Construction of exterior walls with facade thermal insulation. Design requirements]. Valid from 2018-12-01. Official edition. Kyiv : Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2018, 20 p. (State Building Codes of Ukraine). (in Ukrainian).
3. *DBN B.2.6-31:2021. Teplova izolatsiia ta energoefektyvnist budivel* [SCN B.2.6-31:2021. Thermal insulation and energy efficiency of buildings]. Valid from 2022-09-01. Official edition. Kyiv : Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2022, 27 p. (State Building Codes of Ukraine). (in Ukrainian).
4. Getun G.V., Kosheva V.O., Gamotckiy R.O. and Goncharenko A.V. *Otcinka teplovtrat zhytlovogo budynku ZhK "Art-Kvartal Spivoche"* [Assessment of heat losses in the residential building of the "Art-Kvartal Spivoche" residential complex]. *Upravlinnya rozvytkom skladnykh system* [Managing the Development of Complex Systems]. No. 42, 2020, pp. 82–92. (in Ukrainian).
5. Serdyuk V.R. and Franyshina S.Yu. *Energozberezhennia v budivnytctvi – vymoga siogodennia* [Energy saving in construction is a requirement of the present]. *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu* [Herald of Vinnytsia Polytechnic Institute]. No. 4, 2009, pp. 17–21. (in Ukrainian).
6. Serdyuk V.R., Serdyuk T.V. and Franyshina S.Yu. *Udoskonalennia ogorodzhuiuchykh konstruktsiy iak dzherelo znyzhennia teplovykh vytrat suchasnoi budivli* [Improvement of enclosing structures as a source of reducing heat consumption of a modern building]. *Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytctvi* [Modern Technologies, Materials and Structures in Construction]. 2019, pp. 153–159. (in Ukrainian).
7. *DBN B.2.6-31:2006. Teplova izolatsiia budivel* [Thermal insulation of buildings]. Kyiv : Ministry of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of Ukraine, 2006, 73 p. (State Building Codes of Ukraine). (in Ukrainian).
8. *DBN B.2.6-31:2016. Teplova izolatsiia budivel* [Thermal insulation of buildings]. Kyiv : Ministry of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of Ukraine, 2017, 37 p. (State Building Codes of Ukraine). (in Ukrainian).
9. *Novi vymogy do energoefektyvnosti budivel v Ukraini ta ES. Temperaturni zony Ukrainy, porivniannia ta otcinka* [New requirements for energy efficiency of buildings in Ukraine and the EU. Temperature zones of Ukraine, comparison and evaluation]. URL : <https://www.maximuscentr.com.ua/temperaturni-zony-ukrainy> (date application : 04.10.2022). (in Ukrainian).

10. Babiy I.N., Zalogina A.S., Kucherenko L.V., Sokolan Yu.S. and Rabczak S. Comparative characteristics of modern thermal insulation technologies of buildings. *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*. Vol. XXXVIII, iss. 68, 2021, pp. 17–25.

11. Melita L. and Croitoru C. Aerogel, a high performance material for thermal insulation – a brief overview of the building applications. *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 111, iss. 06069, pp. 1–9.

12. *Tipovaia technologicheskaia karta. Proizvodstvo naruzhnoi teploizoliatcii zdaniy s tonkoy shtukaturkoy po utepliteliy* [Typical technological map. Production of exterior thermal insulation of buildings with thin plaster on insulation]. URL : https://www.zavodsz.ru/files/gost/TTK_%20Proizvodstvo%20naruzhnoj%20teploizolyaczii%20zdaniy.pdf (date application : 04.10.2022). (in Russian).

13. *Aerogelna teplova izoliatciia dlia promyslovosti* [Aerogel thermal insulation for industry]. URL : <https://est-est.prom.ua/ua/g24123390-aerogelnaya-teploizolyatsiya-dlya> (date application : 04.10.2022). (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 13.05.2023.