

В. Р. Сердюк
С. В. Рудик
С. В. Гоголь

ВИКОРИСТАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ТА ІНОВАЦІЙНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ УТЕПЛЕННЯ СТІН ЖИТЛОВИХ ТА ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Метою роботи є дослідження сучасного стану енергетичного забезпечення утримання жилого фонду в умовах надмірного споживання енергетичних ресурсів. Показано, що приблизно 80% існуючого житлового фонду будувались при занижених показниках термічного опору огорожувальних конструкцій. Наведена динаміка абсолютних обсягів видобутку власного природного газу та його імпорту.

Через відмову України імпорту природного газу передбачається масштабний перехід до електроопалення нових житлових будинків. Проведений аналіз сучасного стану енергетичної галузі та приведені плани будівництва нових потужностей електроенергії. Електроопалення нового житла ускладнюється через руйнування енергетичних об'єктів, трансформаторних підстанцій. Через руйнацію енергетичної інфраструктури країни урядом прийнято не популярне рішення підвищення тарифів на електроенергію. Показано, що теплова ізоляція житлового фонду забезпечить значне скорочення обсягів енергетичних ресурсів і відповідає світовим тенденціям зменшення викидів парникових газів, що сприятиме виконанню міжнародних зобов'язань Україні щодо декарбонізації довкілля відповідно до рішень Парижської конференції 2015 року. Наведений аналіз експлуатаційних властивостей традиційних теплоізоляційних матеріалів, таких як пінополістирол та мінеральна вата, показано, що пінополістирол являється доступним за ціною, ефективний утеплювач, основним недоліком є його горючість, мінеральна вата являється енергозатратною на стадії виробництва є негорючим матеріалом. Показані перспективи використання негорючого теплоізоляційного газобетону низької густини, який поширений в країнах ЄС. Узагальнений світовий досвід використання в якості інноваційного теплоізоляційного матеріалу - аерогеля, показаний світовий досвід використання його в якості перло ізоляційного матеріалу

Ключові слова: динаміка видобутку природного газу, утеплення житла, руйнація і відновлення енергетичної галузі, електроопалення, теплоізоляційні матеріали, утеплення житла.

Вступ

В останні роки проблема енергозбереження і, нерозривно пов'язана з нею проблема захисту навколишнього середовища через зростання викидів парникових газів, які утворюються спалюванні викопних видів палива (кам'яне вугілля, нафта, природний газ), стали надзвичайно актуальними. Будівельна галузь, як фондоутворююча галузь, сприяє роботі багатьох галузей економіки, забезпечує високий мультиплікативний ефект, постійно забезпечує зростання обсягів виробництва різноманітних матеріалів і виробів, передбачає будівництво нових підприємств, доріг, інженерних мереж, об'єктів соціальної інфраструктури та інше.

За даними [1] будівлі світу використовують близько 40 % всієї споживаної первинної енергії, 67 % всієї електрики, 40 % всієї сировини і 14 % всіх запасів питної води, а також виробляють 35 % всіх викидів вуглекислого газу і мало не половину всіх твердих міських відходів.

Викопні види палива, як і раніше, становлять 80 % від загального обсягу енергозабезпечення економіки у світі, при цьому на нафту приходить 29 %, за нею йде вугілля (27 %) та природний газ (24 %). У глобальних викидах від спалювання палива переважає вугілля (45 %), за ним слідує нафта (32 %) та природний газ (22 %) [2].

Загалом на житловий сектор в Україні припадає близько 40 % загального споживання енергії і відповідна частка викидів парникових газів. Національний фонд будівель є досить неоднорідним, застарілим, оновлюється дуже повільно. Понад 80% існуючих будівель були побудовані в період до 1990 року, на сьогодні є фізично зношеними і не відповідають сучасним вимогам термічного опору огорожувальних конструкцій та є енергозатратними ними в утриманні.

Мета роботи. Дослідження і обґрунтування вибору інноваційних теплоізоляційних матеріалів для утеплення застарілого житлового фонду в умовах руйнації об'єктів енергетики та відмови України від імпорту природного газу, переходу на електроопалення нових житлових будинків.

Постановка проблеми дослідження.

Якщо в країнах Західної Європи величина потенціалу енергозбереження значно вичерпана і становить 10–20 % від обсягів споживання енергоресурсів, то в Україні вона становить приблизно 50 %. На європейському рівні ця проблематика розглядається крізь призму декількох напрямків, які базуються на комплексній оцінці життєвого циклу будівельного об'єкту, при цьому враховується:

- енергоємність ресурсу на стадії видобування та виробництва;
- затрачена енергія при транспортуванні матеріалів;
- паливно-енергетичні витрати при зведенні будівельного об'єкту;
- енергетична потреба впродовж усього терміну експлуатації;
- енерговитрати внаслідок утилізації цього об'єкту.

Такий підхід забезпечує комплексну оцінку напрямків зниження рівня енергетичного споживання на кожному етапі життєвого циклу будівельного об'єкту і в цілому забезпечує отримання вагомого ефекту.

Порівняння нормативних показників термічного опору огорожувальних стін України з аналогічними показниками європейських країн і, що не менш важливо, з термінами їх прийняття показує, що Норвегія, Данія, Швеція, інші європейські країни з навіть більш теплішим кліматом підвищили показники термічного опору стін до $5,0-5,55 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ ще в 2006-2008 роках. В Україні цей показник з великим запізненням був підвищений лише в кінці 2022 року до $4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ для першої кліматичної зони і до $3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ для другої кліматичної зони Існуючий житловий фонд побудований до 1990 року будувався за показниками нормативних вимог термічного опору стін $0,9-1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$, тобто, був в 4 рази нижчим чинних на сьогодні нормативних вимог.

Будинок втрачає до 50 % тепла через стіни. Утеплення фасадів багатоповерхових будинків є невідкладною і важливою складовою збереження тепла, водночас є надважливим і ефективним заходом зменшення енергетичної залежності країни, сприяє зменшенню рахунків за комунальні послуги. Відставання у термінах введення підвищених показників нормативних вимог термічного опору огорожувальних конструкцій на десятки років від європейських країн приводить до додаткових енергозатрат в утриманні житла сьогодні. Особливо це стало відчутним через війну, яка триває більше двох роки. Утримання не утепленого житлового фонду і надалі виконує функцію «бомби уповільненої дії», іншими словами - відбувається перекидання проблем енергозабезпечення житлового фонду на наступні покоління.

Зміна акцентів в енергетичному забезпеченні утримання житла

З 2024 року Україна вперше відмовилась від імпорту природного газу і офіційно заявила про перехід на електроопалення нових житлових будинків. Обсяг власного видобутку природного газу в останні роки в Україні складав 18-20 млрд м^3 , в 2023 році було видобуто 18,6 млрд м^3 . В попередні роки до російської війни Україна відмовилась від прямих поставок російського газу і докуповувала 10-13 млрд м^3 , природного газу через так званий реверс, від європейських трейдерів. Через відмову країн ЄС від імпорту російського природного газу через війну, яку розв'язала росія, України вимушена з 2024 року розраховувати лише на природний газ власного видобутку.

Через скорочення видобутку нафти та руйнації нафтопереробних заводів країна втратила потужності з виробництва вуглеводневого скрапленого газу (метан-пропан), який є калорійним паливом і використовується для автотранспорту, побутових потреб населення, особливо в сільській місцевості.

Темпи термомодернізації будівель в Україні є надзвичайно низькими у порівнянні з європейськими країнами, де відповідний показник становлять 0,4-1,2 % на рік, при цьому ще в 2021 році Європейська Комісія поставила за мету збільшити темпи до 3 %.

Отримати скраплений природний газ (СПГ) від США чи інших країн морським шляхом через Чорне море і Туреччину неможливо через давню відмову Туреччини пропускати кораблі через протоку Босфор. Україна може отримати той же американський СПГ при введенні в дію газопроводу між Україною і Польщею, оскільки Польща має причали для прийому кораблів з СПГ.

На урядовому порталі [3] зазначено, що сфера житлово-комунального господарства в Україні залишається однією з найенергоємніших і потенціал скорочення споживання природного газу складає 8–10 млрд м^3 природного газу. За таких умов і ситуації що склалась в Україні залишається надважливим і обов'язковим утеплення приблизно 80% існуючого житлового фонду і перехід до зеленого будівництва нових будинків.

Поступова відмова від використання викопних видів палива сьогодні на часі і відповідає світовим тенденціям і міжнародним зобов'язанням України щодо декарбонізації довкілля, адже спалювання 1 т кам'яного вугілля супроводжується викидами 2,7-2,8 т CO_2 , а бензину, паливного мазуту, дизелю, керосину - 3 т CO_2 . Саме на електроенергетику України покладається відповідальність за теплозабезпечення нових будівельних об'єктів при поступовому зменшенні обсягів використання викопних видів палива.

Ситуація ускладнюється значним скороченням маневрених енергетичних потужностей - втратою понад 67 % потужностей теплової генерації, яка постійно піддається обстрілам і руйнуванню. Ще з

восени 2022-го року росія регулярно обстрілювала енерго інфраструктуру України. У грудні місяці з ладу була виведена половина енергосистеми країни. При цьому, станом на лютий місяць 2022 року українська енергетична галузь мала надлишки електроенергії і була однією з найпотужніших в Європі.

Щоб надати енергетичним компаніям додаткові кошти для відновлення у травні 2023 року уряд прийняв непопулярне рішення про підвищення тарифів на електроенергію для населення. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) збільшила тарифи для населення з 1,68 грн/кВт-год до 2,64 грн за кВт-год. Нові граничні ціни на електроенергію для бізнесу передбачають, що у вечірній пік споживання, з 19:00 до 23:00, верхня гранична ціна тепер може скласти 7200 грн/МВт-год, що на 80% дорожче ніж до подорожчання. [4].

Раніше діяла норма, за якою мінімальним для побутових споживачів було приєднання до споживання електроенергії на рівні 3 кВт. В березні 2021 року НКРЕКП внесла зміни, відповідно до яких мінімальним може бути приєднання на рівні 5 кВт. Тобто, має місце перехід України до електроопалення в майбутньому і поступова відмова від використання природних вуглеводів. Для будинків, які збудовані раніше, обленерго протягом 2 років має перевести споживачів на збільшену потужність до 5 кВт.

Україна планує розширити Хмельницьку АЕС, додавши 4 нових реактори до 15 існуючих і розпочати роботи у 2024 році. Наявність планів будівництва нових АЕС не дають відповіді про подальшу долю Запорізької АЕС з 6 енергоблоками, яка до війни забезпечувала 50 % всієї атомної енергетики України, а за день до війни була відключена до єдиної енергетичної системи колишнього СРСР, (сьогодні росії), для перевірки можливості її роботи з європейською енергосистемою.

За принципами переходу до зеленої енергетики та планами НЕК «Укренерго» протягом найближчих 5-10 років планується інвестувати 15 млрд дол. для відновлення потужності виробництва електрики на ВДЕ та забезпечення гнучкості енергетичної системи.

Згідно з оцінкою Міжнародної організації з міграції ООН 7,7 млн громадян України вважаються внутрішньо переміщеними особами (ВПО), тобто люди залишилися в Україні, але були вимучені виїхати з власних зруйнованих будинків і квартир. Станом на 14.06.22 зруйновано/пошкоджено 12900 багатоквартирних будинки (~13,5 млн м²), 107707 приватних будинки (~1,9 млн м²), які потребують відновлення будівництва та послідуочого утеплення. За офіційними даними в Україні зруйновано 10% житлового фонду та 50% електрогенеруючих потужностей. Зруйновано житла стільки, скільки було побудовано за останні 7 років.

Будівлі побудовані в Україні до 1991 року не відповідають сучасним вимогам до енергоефективності. За даними державної Служби статистики України станом на 2020 рік 88,3% сімей домогосподарств проживає у житлі, яке збудоване до 1991 року (у міських поселеннях – 88,2%). Будівлі мають значні тепловтрати через стіни, вікна, покрівлю, підлогу та вентиляцію. опалення.

Нормативні вимоги термічного опору огорожувальних конструкцій стін будинків, побудованих до 1991 року в порівнянні з показниками діючих ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» є в 4 рази нижчі. В проекті Плану відновлення України в матеріалах робочої групи «Енергетична безпека» передбачено до 2032 року провести термомодернізацію житлового сектора ~ 50%, а до 2050 року мають бути термомодернізовані ~100% будівель, для електрифікації опалення мають використовуватись електричні котли та теплові насоси.

Газифіковані житлові будинки будуть і надалі використовувати природний газ. Так історично склалось, що видобуток природного газу в колишньому СРСР розпочався в Україні і питома вага газу в енергетичному балансі економіки була найвищою в світі, зросла до 44%, тоді як інших країнах вона становить 20-22%. Станом на 2021 рік Україна входить до 5 європейських країн-лідерів виробників природного газу (млрд. м³): Норвегія -114; Велика Британія - 32,7 ; Україна – 18,6; Нідерланди – 18,2; Румунія – 8,5.

Теплоізоляційні матеріали для утеплення стін

До утеплення застарілого житлового фонду на державному рівні в історії незалежної України звертались декілька раз. Саме через низьку платоспроможність населення та високу вартість позичкових коштів при відсутності державної підтримки не вдалось утеплити застарілий житловий фонд протягом більше ніж за 30 років незалежності. При цьому має місце «клаптикове» утеплення окремих квартир в багатоповерхових будинках (рис. 1).



Рисунок 1 – Фрагмент фіксації пінополістиролу до стіни будинку та зовнішній вигляд «клапкового» утепленого фасаду будинку

Утеплення будинків проводиться за рахунок коштів власників окремих квартир, псує загальний вигляд фасаду багатопверхових будинків, фактично не приводить до реальної економії енергоносіїв на рівні теплогенеруючих потужностей, хоча в утеплених квартирах за всіх інших стабільних параметрів опалення внутрішня температура зростає на 1-3 °С. Наявний фінансовий інструментарій забезпечення термомодернізації застарілого житлового фонду без підтримки держави не забезпечує досягнення кінцевої мети протягом всіх років існування незалежної України [5].

Для зменшення трудомісткості будівельних робіт пінополістирол використовується у вигляді панелей, які фіксуються до стіни за допомогою анкерних болтів (рис. 2 і рис. 3).

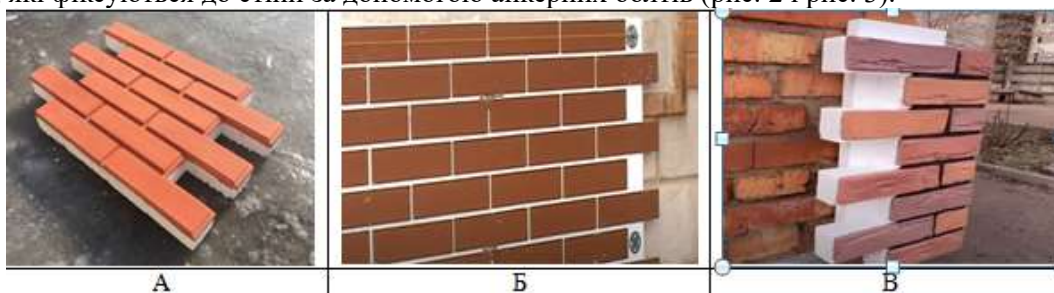


Рисунок 2 – Фасадні панелі з використанням пінополістиролу. Де: А - сендвіч-панель (СП-панель); Б-зовнішній вигляд панелі; В-кутова панель



Рисунок 3 – Фрагмент фіксації пінополістирольних панелі до зовнішньої стіни будинку

Екструдований пінополістирол, як і вироби з пінопласту в залежності від наявності в його складі добавок антипіренів відносять до класів горючості: Г2 - нормально горючі; Г3 - сильно горючі. Середня температура загоряння екструдованого пінополістиролу - 450 °С, пінопласту - 310 °С. Пінополістирол може експлуатуватися в діапазоні від -50 до +75 °С без руйнування цілісності. Горіння пінополістиролу супроводжується сильним виділенням густого чорного диму (267 м³/м³). Широко відома в світі резонансна пожежа в молодіжному клубі «Хромая лошадь» в росії, де від горіння пінопласту у тому числі і через паніку в молодіжному клубі загинули одразу 156 чоловік.

Існує велика кількість теплоізоляційних матеріалів (пінополістирол, базальтова вата, мінеральна вата, ековата, піноскло, юнізол, полістиролобетон, піноізол, пінобетон, ніздрюватий автоклавний бетон, пінополіуретан, арболіт, костробетон, перлітобетон та інші), деякі з них мають приблизно рівну теплопровідність, в межах 0,04 Вт/(м²· К). За своїми фізико-механічними та експлуатаційними властивостям вони суттєво різняться і не прийнятні для масштабного використання. Це стосується горючості, міцності, морозостійкості, екологічності, капілярного підсмоктування, водо поглинання, тощо. Перевага в утепленні віддається дешевому пінополістиролу, до складу якого вводяться добавки

антипіренів для зменшення його горючості, та мінеральні вати (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльні показники основних найбільш вживаних теплоізоляційних матеріалів.

Матеріал	Пінополіуретан	Піноізол	Мінвата	Пінопласт
Теплопровідність, Вт/(м · К)	0,025-0,035	0,035-0,038	0,046	0,04-0,05
Клас горючості	Г3, Г2, Г1	Г2	НГ	Г4
Паропроникність, мг/(м · год · Па)	0,02	0,021-0,024	0,49-0,6	0,03
Водопоглинання, %	2	18-20	1,5	3
Термін служби, років	50	30	10-20	15
Робоча температура, °С	-160...+150	-50...+120	-40...+120	-100...+75

Мінеральна вата витримує високі температури, але має високе водопоглинання і повільно віддає накопичену воду, з часом підсаджується, що суттєво впливає на основний експлуатаційний показник – теплопровідність, крім того, вона характеризується високою енергоємністю виробництва – 1200 °С і при сильному нагрівання виділяє шкідливі викиди, які утворюються при руйнації органічного в'язучого, що вводиться до її складу. На рис. 4 приведений фрагмент комплексного утеплення будинку пінополістиролом та мінеральною ватою з врахування горючості пінополістиролу.



Рисунок 4 – Фрагмент горіння фасаду висотної будівлі утепленої пінополістиролом та комбінованого утеплення з використанням пінополістиролу та мінеральної вати.

Як видно з рис. 4 (Б) навколо вікон використовується обов'язково не горючий утеплювач з мінеральної вати і передбачаються протипожежні розриви по висоті будівлі.

Відповідно до ДБН В. 1.1-7:2016 горючі будівельні матеріали поділяються:

- за димоутворювальною здатністю на три групи: Д1 (з малою димоутворювальною здатністю); Д2 (з помірною димоутворювальною здатністю) та Д3 (з високою димоутворювальною здатністю);
- за токсичністю продуктів горіння на чотири групи: Т1(мало небезпечні); Т (помірно небезпечні); Т3(високо небезпечні); Т4(надзвичайно небезпечні).
- за поширенням полум'я поверхнею на чотири грати РП (не поширюють); РП2 (локально поширюють); РП3 (помірно поширюють) РП 4(значно поширюють).

Відповідно до вимог ДБН В.2.6-33:2018 Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією за умовною висотою будинку поділяються на:

- а) малоповерхові - заввишки $H \leq 9\text{м}$;
- б) багатоповерхові заввишки ($9\text{м} < H \leq 26,5\text{ м}$);
- в) підвищеної поверховості – заввишки $26,5\text{ м} < H \leq 47\text{м}$;
- г) висотні- заввишки $H > 47\text{м}$.

Теплоізоляційні матеріали з автоклавного газобетону

В європейських країнах крім пінополістиролу і мінеральної вати широке поширення отримав екологічно чистий не горючий теплоізоляційний матеріал – автоклавний газобетон низької густини марки D100-D200. Продукція німецької компанії Xella «Ytong Multipor» є надлегким різновидом автоклавного ніздрюватого бетону з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda = 0,042-0,045\text{ Вт / м} \cdot \text{К}$, який є співрозмірним з пінополістиролом. Густина матеріалу близько 100-120 кг/м³ при достатній міцності на стиск.

Газобетонні плити під маркою "Ytong Multipor" реалізуються в європейських країнах та окремих країнах колишнього СРСР. Плити "Ytong Multipor" використовуються для внутрішнього і зовнішнього утеплення стін, підлоги, покрівельних конструкцій, як екологічний утеплювач, з високими вимогами до вогнестійкості (рис. 3). Також вони використовуються для теплоізоляції підземних паркінгів, перекриттів підвальних приміщень і переходів, несучих конструкцій. Плити «Ytong Multipor» мають лінійні розміри 600×390 мм, товщиною 50; 60; 80; 100 мм; 120; 140; 180; 200 мм. На рис. 5 і рис. 6 приведений фрагмент утеплення зовнішніх стін і підлоги теплоізоляційним газобетоном.



Рисунок 5 – Фрагмент внутрішнього утеплення будинку газобетонними плитами

Група Xella є найбільший у світі виробником газобетону і власником відомих в світі торгових брендів Ytong та Multipor. З сайту компанії Xella видно, що ця компанія працює більш ніж в 30 країнах світу з 7 тис. співробітників, володіє більш ніж 80 заводами, має власний випробувальний центр.

Газобетон «Multipor» марки D100 - D115 - це мінеральний екологічно чистий утеплювач в Європі виробляється відносно недавно, але за цей час широко здобув популярність у споживачів завдяки своїм унікальним експлуатаційним характеристикам. Масове виробництво теплоізоляційного газобетону марки D120 і D150 вперше серед країн колишнього Радянського Союзу розпочалось в Україні в 2013 році, але в 2023 році було призупинене.



Рисунок 6 – Схема утеплення стін і підлоги житлового будинку

Такий вид теплоізоляції має великі перспективи до впровадження оскільки має ряд переваг над відомими теплоізоляційними матеріалами, що використовуються при утепленні житлових різноманітних будівель. (табл. 2).

Таблиця 2

Розширення марки теплоізоляційного автоклавного газобетону відповідно до внесених змін до ДСТУ Б В.2.7-45:2010 «Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови».

Марка за середньою густиною	Середня густина, кг/м ³	Клас міцності, С	Міцність, МПа, не менше	Теплопровідність у сухому стані, Вт/м·°С, не більше
D100	70–120	C0,25	>0,4	0,052
D150	120–170	C0,25	>0,4	0,058
D 200	180–220	C0,35	0,50	0,055
D 250	220–270	C0,5	0,72	0,065
D 300	270–320	C0,75	1,06	0,08
D 350	320 - 370	C1,0	1,45	0,09

В Україні, по аналогії з розвиненими країнами, збільшується частка житла в індивідуальних малоповерхових будинках (до 3-х поверхів), вона наближається до 40%, в країнах ЄС, США, Канади – вона становить приблизно 75%. Використання SIP-панелей (конструкція з двох листів ОСП (OSB) і

пінополістиролу) для зведення житлових та комерційних будівель у світі відоме вже понад 50 років. В Україні, очевидно через ментальність населення, ця технологія так і не прижилася.

Автоклавний газобетон відносно новий матеріал і масштабне його виробництво в Україні розпочалося на початку 60-х років минулого століття, коли колишній СРСР закупив в Польщі 10 заводів і розпочав проектування і будівництво власних заводів. Польща в свою чергу закупила в шведській компанії Сіпорекс декілька заводів з правом тиражування обладнання. Класичним прикладом становлення виробництва автоклавного газобетону є досвід Польщі та Китаю. Польща наростила свої власні виробничі потужності до 7 млн. м³ газобетону і вже на початку 60—х років продала вже «свої» 10 заводів колишньому СРСР, і 7 заводів в колишню Чехословаччину, аналогічним чином поступив і Китай, який з імпортера перетворився в експортера власних заводів. Виробники газобетону постійно ведуть конкурентну боротьбу за підвищення коефіцієнта конструктивної якості матеріалу, а це означає отримати легкий матеріал з високою міцністю.

Як відомо, в 1991 році в колишньому СРСР вироблялося близько 5,7 млн. м³ виробів з автоклавного газобетону, в Росії - 1,65 млн. м³, Україні - 1,2 млн. м³, в Білорусі - 1,7 млн. м³, Казахстані більш 0,5 млн м³. Прибалтійські республіки вносили свій внесок в загальні обсяги виробництва АГБ. У 1989 році Латвія виробляла 258, Литва - 251 і Естонія 282 тис. м³ автоклавного газобетону [6].

Кращі європейські і українські компанії-виробники автоклавного газобетону в результаті вдосконалення технології виробництва виготовляють конструкційно-теплоізоляційний газобетон марки D300 і D400. В кінці 90-х років середня густина газобетонних блоків складала 647 кг/м³. В Україні «важкий» газобетон D600 практично не виробляється.[7].

З 2000 по 2022 рік обсяги виробництва автоклавного газобетону в Україні зросли в 46 раз і Україна, як більшість східноєвропейських країн вийшла на рівень відносних обсягів виробництва автоклавного газобетону приблизно 100 м³/чол. на рік. В умовах необхідності декарбонізації довкілля і зменшення споживання викопних видів палива саме цей стіновий матеріал стає затребуваним для будівництва малоповерхових житлових будинків (до 3-х поверхів) та висотних каркасно-монолітних будинків з послідовним заповненням внутрішніх і зовнішніх стін газобетонними блоками. Енергоємність виробництва газобетону практично в 3 рази менше ніж звичайної глиняної цегли.

Аналітичне агентство [8] з дослідження ринку, що об'єднує професіоналів в області світової інформації та інформації про ринки включає 1700 дослідницьких груп з 81 країни, представило свій прогноз зростання обсягу світового ринку автоклавного газобетону. Згідно з цим прогнозом обсяг світового його ринку виросте з 18,8 млрд. дол. в 2020 році до 25,2 млрд. дол. до 2025 року при середньорічному темпі зростання 6,0 % в період з 2020 по 2025 рік, інші агентства прогнозують подальше зростання на рівні 10 % річних.

Інноваційні теплоізоляційні матеріали

Уже багато років поспіль на себе звертає увагу такий інноваційний теплоізоляційний матеріал, як аерогель, коефіцієнт його теплопровідності в 2 рази менший ніж у кращих традиційних теплоізоляційних матеріалів (пінополістиролу, мінеральної вати). Підвищена увага до аерогеля пов'язана з унікальними властивостями цього матеріалу. Аерогель (від лат. aer — повітря і gelatus — заморожений) - клас матеріалів, що представляють собою гель, в якому рідка фаза повністю заміщена газоподібною, внаслідок чого речовина має рекордно низьку щільність та низьку інших унікальних якостей: твердість, прозорість, жароміцність, надзвичайно низьку теплопровідність та відсутність водопоглинання.(рис. 7).

Аерогель на 98 %-99 % складається з повітря, яке знаходиться в мікропорах (< 2 нм). У нанопорах повітря перебуває у статичному стані, так як величина цих пор менша за довжину вільного пробігу молекули газів повітря, тому молекули повітря переносять менше енергії, ніж вільні молекули повітря в звичайних умовах, за рахунок чого забезпечується додаткове зниження теплопровідності матеріалу.

Суть технології виробництва аерогелю базується на тому, що якщо гель з водою необхідно нагріти до критичної температури 374 °С та стиснути до 218 атмосфер, різниця між парою і водою зникне — утвориться так звана надкритична рідина. Усередині кожної умовної пори гелю утвориться дуже щільна пара або вода, що по суті те саме. Якщо знижувати тиск до критичного і нижче, зберігати температуру вище критичної, то ця щільна пара почне поступово виходити з гелю без будь-якої конденсації. Такий процес отримав назву – «суперкритичне сушіння», при якому не відбувається усадки самого гелю.

За свої унікальні властивості аерогель удостоєний 15 позицій в книзі рекордів Гіннеса. Матеріал витримує навантаження в 2000 разів більше, ніж його власна вага. Матеріал відноситься до класу мезопористих матеріалів. За структурою аерогелі представляють собою деревоподібну мережу з об'єднаних в кластери наночастинок розміром 2-5 нм і пор розмірами до 100 нм.

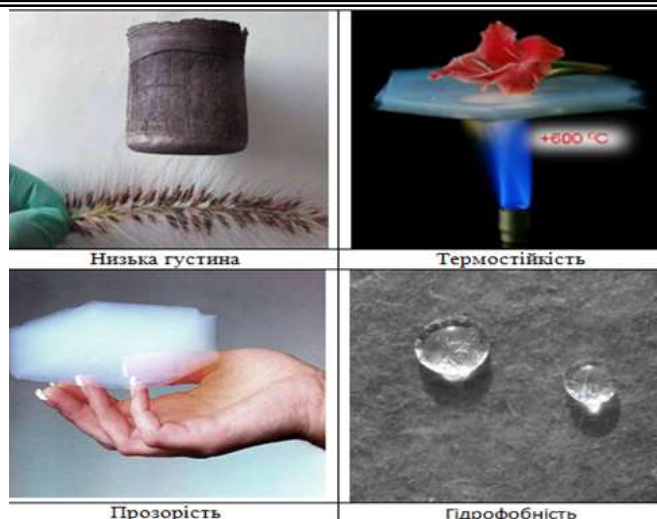


Рисунок 7 – Зовнішній вигляд зразків аерогелю з демонстрацією фізичних його властивостей

Першість у винаході аерогелю визнано за американським хіміком Стівеном Кістлером, який опублікував у 1931 році в журналі Nature результати свої досліджень. Кістлер замінював рідину в гелі метанолом, а потім нагрівав гель під тиском до досягнення критичної температури метанолу (240 °С). Метанол видалявся з гелю, не зменшуючись в об'ємі; відповідно, і гель «висихав», майже не стискаючись.

Існує декілька видів аерогелів. Найбільш характерні та порівняльні їх властивості:

- теплопровідність (до 0,016 Вт • М /К), у 10 разів нижче, ніж у дерева;
- надзвичайно низький коефіцієнт заломлення світла (до 1.0002);
- електрична провідність може змінюватися в широких межах залежно від матеріалу, що використовується;
- матеріал має наднизьку теплопровідність та широкий діапазон температурного застосування від -250°С до +1200°С;
- аерогелева теплоізоляція майже в 3-5 разів ефективніша за інші традиційні ізоляційні матеріали, що дозволяє значно скоротити товщину ізоляції;
- низька швидкість розповсюдження звуку в аерогелях (до 70-100 м/сек) дозволяє використовувати його для виготовлення звуконепрокичних перегородок, ліній звукової затримки, різних акустичних систем.

Щільність різних аерогелів зазвичай варіюється в межах від 0,001 до 0,5 г/см³ (найчастіше порядку 0,02 г/см³), а густина повітря – 0,001225 г/см³ [9].

Технічна рулонна теплоізоляція з товщиною 3, 5, 6 і 10 мм. це теплоізоляція для криогенних об'єктів з температурою застосування від -260°С, а також для «гарячих» виробництв та протипожежного захисту промислових об'єктів з температурою застосування до +1000 °С. Така теплоізоляція поставляється у рулонах шириною 1400-1500 мм. використовується для утеплення будівель, окремих агрегатів [10].

В табл. 3 приведені властивості аерогеля, які присутні на сучасному ринку від китайського виробника, який реалізує цю продукцію на світовому ринку.

Таблиця 3

Технічні показники аерогелю китайського виробництва (Китай, Чженчжоуська компанія науки і техніки ООО «Joda»

Моделі	SACB-0-3	SACB-0-6	SACB-0-10
Товщина, (мм)	3	6	10
Ширина, (мм)	За вимогою	За вимогою	За вимогою
Колір	Білий	Білий	Білий
Робочий температурний діапазон, (° С)	-200 ~ 650	-200 ~ 650	Із стоволокна: -200 ~ 650; Із керамічного волокна: 600 ~ 1000
Густина, (кг/м ³)	200±20	200±20	200±20
Клас згорання	A1	A1	A1
Стійкість до корозії	Проходить	Проходить	Проходить
Гідрофобність, (%)	>99,8	>99,8	>99,8
Клас диму	SR-2	SR-2	SR-2

Аерогель, як високоефективний теплоізоляційний матеріал, має широкий діапазон температурного застосування від -250°C до $+1200^{\circ}\text{C}$. Теплоізоляція з аерогеля вважається в 3-5 разів ефективніша за інші традиційні ізоляційні матеріали, що дозволяє значно скоротити товщину ізоляції та отримати іншу попутні вигоди. Матеріал надзвичайно легкий та міцний, не вбирає вологу та відмінно захищає від корозії. Існує декілька видів аерогелей різних кольорів. Найбільш характерні їх властивості:

- дуже низька щільність (до 160 грамів /м³), тобто в 6 разів легше повітря;
- вкрай низька теплопровідність (до 0,016 Вт • М /К), у 10 разів нижче, ніж у дерева;
- низька швидкість розповсюдження звуку (до 70 м/сек);
- надзвичайно низький коефіцієнт заломлення світла (до 1.0002);
- електрична провідність може змінюватися в широких межах залежно від матеріалу, що використовується.

На рис. 8 приведений фрагмент внутрішнього утеплення стін з використанням аерогеля з коефіцієнтом теплопровідності 0,013-0,019 Вт/(м • °С).

Аерогель через високу енергозатратність та складність виробництва має відносно високу вартість, (від 10 дол/м² або від 100 дол / кг і вище в залежності від виробу. Наведені дані запозичені з рекламної продукції, доступної в мережі Інтернет. Матеріал розповсюджений на світовому будівельному ринку, доступний і для України. До країн, які відносяться до світових лідерів виробництва аерогеля слід віднести США, Китай, Німеччину. Оскільки аерогель виробляється і в росії, науково-технічний потенціал України спроможний налагодити його виробництво і в Україні після закінчення війни.



Рисунок 8 – Зовнішній вигляд внутрішнього утеплення стін аерогелем

За даними аналітиків ринок світових виробників аерогелів з використанням діоксиду кремнію сегментований за типом (кремнезем, вуглець, глинозем та інші типи), формою (ковдри, частинки, блоки та панелі), галузі кінцевого користувача (нафта та газ, будівництво, автомобілебудування, морська, аерокосмічна промисловість) та інші галузі кінцевого користувача) та географії (Азіатсько-Тихоокеанський регіон, Північна Америка, Європа, Південна Америка, Близький Схід та Африка). З 2023 до 2028 року темпами зростання обсягів виробництва аерогелю становитимуть 10% річних.

В свій час NASA розробило цей матеріал для ізолювання космічних кораблів, супутників, і скафандрів космонавтів. Як правило, це тонкий рулонний матеріал, що складається з основи і відбиваючого шару. Шаром є тонка полірована алюмінієва фольга. У неї коефіцієнт відбиття досягає 96-97%. У США(компанія Aspen) та Китайські компанії враховуючи властивості аерогелю виготовляють куртки, замінивши пух на аерогелі. Куртка витримує екстремальні температури, дуже тепла, тонка - в ній немає пишності пухового одягу. Унікальні властивості аерогелю були реалізовані навіть для стелек зимового взуття, які не промокають і тримають тепло.

Висновки

Клаптикове утеплення фасадів не забезпечує реальної економії енергетичних ресурсів на рівні теплогенеруючих компаній, псує загальний вигляд фасадів багатоповерхових будинків, переносить закінчення теплоізоляції будинку на невизначений термін і не відповідає світові практиці утеплення будинків.

Проблема енергозабезпечення через військову агресію, руйнування енергетичної інфраструктури та житлового фонду, відсутність можливості імпорту природного газу зробили необхідність теплоізоляції будинків невідкладною проблемою сьогодення. В Проекті Плану відновлення України

Національної рада з відновлення України від наслідків війни в матеріалах робочої групи «Енергетична безпека» зазначено, що біля 50% будівель будуть термомодернізовані до 2032 року, а до 2050 року всі 100%.

Найбільш поширеними теплоізоляційними матеріалами являється мінеральна вата та пінополістирол. Останній характеризується високою горючістю, а мінеральна вата є негорючим матеріалом але характеризується високою енергоемністю виробництва. По аналогії з країнами ЄС великі перспективи в утепленні огорожувальних конструкцій будівель має автоклавний теплоізоляційний газобетон густиною 100-200 кг/м³, який усуває недоліки традиційних теплоізоляційних матеріалів..

В Україні з 2024 року зроблений розворот до впровадження електроопалення нових житлових будинків. Електрифікація опалення буде реалізована шляхом влаштування електричних котлів та теплових насосів, що виключить теплові втрати в мережах.

На світовому рівні інноваційним теплоізоляційним матеріалом являється аерогель, коефіцієнт теплопровідності якого в більше ніж в 2 рази нижчий ніж найбільш поширених теплоізоляційних матеріалів – пінополістиролу і мінеральної вати. Крім того, аерогель володіє низкою інших переваг. За свої унікальні властивості аерогель удостоєний 15 позиціями в книзі рекордів Гіннеса. Недоліком аерогеля являється висока його вартість, але за рахунок вдосконалення технології виробництва та сировинних компонентів вона постійно зменшується.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Fesanghary M. Design of low mission and energyefficient residential building susing a multi objective optimization algorithm / M. Fesanghary, S. Asadi, Z. W. Geem // Building and Environment. - №49. - 2012. - P. 245–250.
2. Огляд світової енергетики 2022 р. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>.
3. Урядовий портал: Термомодернізація житлових будівель та бюджетних установ - одне з пріоритетних питань політики України у сфері енергоефективності. www.kmu.gov.ua.
4. НКРЕКП переглянула граничні ціни на електроенергію для бізнесу. <https://www.epravda.com.ua/news/2023/06/27/701612/>.
5. Сердюк В.Р., Франишина С.Ю., Сердюк Т.В., Христюк О.В. Організаційно-технологічні заходи термомодернізації застарілого фонду. Вісник ВПІ. 2022. № 2. –С.6-17.
6. Черв'яков Ю. М. Ніздрюватий бетон - ефективний стіновий матеріал / Ю. М. Черв'яков // Будівельні матеріали та вироби. 2008. №6 (52). -С.35-36.
7. Сердюк В. Р., Рудченко Д. Г. Зростання обсягів виробництва та сфери використання газобетонних блоків. Вісник ВПІ. 2021. №5. –С.7-17.
8. Ринок автоклавного аерованого бетону (AAC) Research And Markets.com Електронний ресурс. Режим доступа: <https://www.researchandmarkets.com/r/6fmucz>.
9. Aerogels/Ed.J. Fricke. – Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: SpringerVerlag, 1986. – 205 p.
10. Аерогельна теплоізоляція для промисловост <https://est-est.prom.ua/ua/g24123390-aerogelnaya-teploizolyatsiya-dlya>.

REFERENCES

1. Fesanghary M. Design of low mission and energy efficient residential building using a multi objective optimization algorithm /M. Fesanghary, S. Asadi, Z.W. Geem // Building and Environment. - #49. - 2012. - R. 245–250.
2. World Energy Outlook 2022 <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>.
3. Government portal: Thermal modernization of residential buildings and budget institutions is one of the priority issues of Ukraine's policy in the field of energy efficiency. www.kmu.gov.ua.
4. NCRECP reviewed the maximum prices for electricity for business. <https://www.epravda.com.ua/news/2023/06/27/701612/>.
5. Serdyuk V.R., Franishyna S.Yu., Serdyuk T.V., Hristych O.V. Organizational and technological measures of thermal modernization of the outdated fund. VPI Bulletin. 2022. No. 2. – P.6-17.
6. Chervyakov Yu.M. Cellular concrete - effective wall material / Yu.N. Chervyakov // Building materials and products. 2008. No. 6 (52). - P. 35-36.
7. Serdyuk V.R., Rudchenko D.G. Growth of production volumes and areas of use of aerated concrete blocks. VPI Bulletin. 2021. No. 5. - P. 7-17.
8. Market for autoclaved aerated concrete (AAC) Research And Markets.com Electronic resource. Access mode: <https://www.researchandmarkets.com/r/6fmucz>.
9. Aerogels/Ed.J. Fricke. – Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: Springer Verlag, 1986. - 205 p.
10. Airgel thermal insulation for industry <https://est-est.prom.ua/ua/g24123390-aerogelnaya-teploizolyatsiya-dlya>.

Сердюк Василь Романович – д.т.н., професор кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, e-mail: vasromvs@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2927-629X>.

Рудик Сергій Вікторович – магістр кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. e-mail: sergiyrud@ukr.net.

Гоголь Сергій Володимирович – магістр кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. e-mail: gogolswk@gmail.com.

**V. Serdyuk
S. Rudyk
S. Hohol**

USE OF TRADITIONAL AND INNOVATIVE THERMAL INSULATION MATERIALS FOR WALL INSULATION OF RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS

Vinnitsia National Technical University

The aim of the work is to study the current state of energy supply for residential maintenance under conditions of excessive energy resource consumption. It is shown that approximately 80% of the existing housing stock was built with low thermal resistance indicators of enclosing structures. The dynamics of the absolute volumes of domestic natural gas production and its import are presented.

Due to Ukraine's refusal to import natural gas, a large-scale transition to electric heating of new residential buildings is anticipated. An analysis of the current state of the energy sector and plans for the construction of new electricity generation capacities is provided. Electric heating of new housing is complicated by the destruction of energy facilities and transformer substations. Due to the destruction of the country's energy infrastructure, the government has made the unpopular decision to raise electricity tariffs. It is shown that thermal insulation of the housing stock will significantly reduce the consumption of energy resources and aligns with global trends in reducing greenhouse gas emissions, contributing to Ukraine's fulfillment of its international commitments to decarbonize the environment according to the decisions of the Paris Conference of 2015. An analysis of the operational properties of traditional thermal insulation materials, such as polystyrene foam and mineral wool, is provided. It is shown that polystyrene foam is an affordable and effective insulator, with its main drawback being flammability, while mineral wool is energy-intensive to produce but is non-flammable. The prospects for using non-combustible low-density aerated concrete, which is common in EU countries, are shown. The global experience of using aerogel as an innovative thermal insulation material is summarized, demonstrating its use as a high-performance insulation material.

Keywords: *natural gas production dynamics, housing insulation, energy sector destruction and restoration, electric heating, thermal insulation materials, housing insulation.*

Serdyuk Vasyl – Ph.D., Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnitsia National Technical University, e-mail: vasromvs@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2927-629X>.

Serhii Rudyk – master of the department of construction, urban economy and of architecture, Vinnitsia National Technical University. e-mail: sergiyrud@ukr.net.

Serhii Hohol – master of the department of construction, urban economy and of architecture, Vinnitsia National Technical University. e-mail: gogolswk@gmail.com.