

АКТУАЛЬНІСТЬ ЗРОСТАННЯ ТЕПЛОЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ВІКОН

¹Вінницький національний технічний університет

Показано, що в умовах відмови України від імпорту російського природного газу з 2023 року, руйнації значної частини енергогенерувальних потужностей в результаті агресії РФ на сьогодні постає питання не тільки відновлення електрогенерувальних потужностей та відбудови зруйнованого житла, але й необхідності теплодернізації майже 90 % наявного житлового фонду, який побудовано за низьких нормативних вимог термічного опору «оболонки» будівель. Наразі будівельний сектор економіки зберігає значний резерв зменшення енергоспоживання.

Дослідження передового європейського досвіду теплодернізації застарілого житлового фонду шляхом одночасного утеплення стін, заміни вікон та облаштування ролет прискорюють виконання теплоізоляційних робіт та зменшує витрати на утеплення фасадів застарілого житла. Показано, що через стіни й вікна будівель втрачається майже 65 % теплової енергії, будівельний сектор економіки споживає 40 % від всіх енергоносіїв і є відповідальним за 36 % викидів парникових газів.

Надмірне спалювання викопних видів палива (вугілля, нафти, природного газу) призводить до зростання викидів вуглекислого газу і глобального зростання температури. Україна, як і інші країни світу, взяла на себе міжнародні зобов'язання щодо зменшення викидів парникових газів. В Україні в 2022 році введено в дію нові ДБН, в яких передбачене зростання нормативних вимог термічного опору огорожувальних конструкцій. Передовий світовий досвід передбачає відмову від клаптикового утеплення стін, яке поширене в Україні, та перехід до комбінованого і одночасного утеплення стін, заміни вікон та влаштування ролет. Переваги такої технології теплодернізації цілком очевидні.

Українські підприємства з виробництва вікон працюють використовуючи німецькі технологічні лінії та імпорتنі комплектуючі. Показано, що за останні 20 років Україна суттєво наростила обсяги виробництва сучасних вікон. Експорт українських вікон зріс приблизно у 70 разів, а за останні 4 роки — утричі.

В умовах адаптації нормативної бази України в галузі будівництва до вимог країн ЄС передбачається перехід до будівництва енергоефективних і пасивних будинків, а теплодернізація застарілого житлового фонду для України є невідкладним завданням.

Ключові слова: енергозбереження в будівництві, екологія, нормативна база, динаміка виробництва металопластикових вікон, інертні газу, комплексне утеплення будинків.

Вступ

Наразі будівельна галузь економіки України характеризується значними перевитратами енергії [1], це відбувається як на стадії виробництва базових будівельних матеріалів (цементу, металу), самого будівництва об'єктів, так і на стадії їхньої експлуатації. До того ж, будівельні відходи недостатньо використовуються повторно і переважно направляються у відвали.

За даними [2] 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 CO₂ і мало не половину всіх твердих міських відходів. Саме тому значний резерв енергозбереження, ресурсозбереження є у будівельному секторі економіки

Будівельна галузь зберігає величезний потенціал загального зменшення викидів CO₂, або іншими словами — зменшення спалювання викопних вуглеводів: кам'яного вугілля, нафти і нафтопродуктів та природного газу, які його генерують. Враховуючи досвід країн ЄС, дієвим механізмом поліпшен-

ня стану екології та зменшення енергоспоживання залишається оподаткування викидів CO₂. З великим запізненням, лише з 2019 по 2020 роки в Україні податок на викиди CO₂ зріс з 0,41 до 30 грн за т CO₂ (практично в 73 рази) але в порівнянні з середньоєвропейськими показниками податку (30...50 євро) він є практично символічним [3].

Енергоємність ВВП України є однією з найвищих у світі — у 2,7 рази вища ніж у Польщі й у 3,3 рази вища ніж у Німеччині [4]. Згідно з Енергетичною стратегією України до 2030 року, енергоємність ВВП має знизитися до 0,41 кг у.п./дол. США.

В житловому секторі України питомі витрати енергії в багатоквартирних будинках в 2—3 рази вищі ніж у країнах ЄС. Вони становлять близько 150...260 кВт·год/(м²·рік). В країнах ЄС введено обмеження теплоспоживання будинків, не більше 60...70 кВт·год/(м²·рік).[5]. Фактично застарілий житловий фонд України, побудований раніше (близько 90 %) за результатами чисельних досліджень характеризується витратами енергії в межах 200...400 кВт·год/(м²·рік) потребує додаткового утеплення.

Відповідно до прийнятої європейської директиви (Energy Performance of Buildings Directive 2010/31 / EU), в країнах-членах ЄС, до 31 грудня 2020 року для всіх нових будинків повинні бути забезпечені параметри будівлі з близьким до нульового енергетичного балансу, а також збільшена кількість будівель, що відповідають цим критеріям. В 1996 році Україна вперше заявила про бажання стати повноправним членом ЄС а в червні 2022 року офіційно отримала статус країни-кандидата на членство у ЄС тому зобов'язана виконати низку певних завдань («кроків») і здійснювати трансформацію всіх сфер діяльності за принципами ЄС та його за його правилами, зокрема і раціонального використання енергетичних ресурсів в будівельній галузі.

Енерго-екологічні аспекти термомодернізації будівель

Згідно з оцінкою Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), для досягнення «нульового» рівня викидів вуглекислого газу в будинках до 2050 року безпосередні викиди CO₂ мають скоротитися на 50 %, а непрямі — на 60 %. Це рівнозначно зменшенню щорічно рівня викидів парникових газів у будівельній галузі на близько 6 % у рік до 2030 року. Міжнародні зобов'язання України мають реалізуватись у відповідних планах, зокрема за рахунок термомодернізації житлового сектора близько 50 % до 2032 року, близько 100 % до 2050 року шляхом використання енергоефективних огорожувальних конструкцій «оболонки» будівлі (стіни, вікна, покрівлі, підлоги).

Необхідність зменшення енергоспоживання в будівельній галузі зумовлене не тільки вичерпністю і зростанням цін на викопні вуглеводи (нафту, вугілля, природний газ) але і глобальним зростанням температури. Зміни клімату пов'язані з діяльністю людини через надмірне спалювання викопних видів палива.

Постійне відставання показників нормативних вимог теплової ізоляції стін, вікон, покрівлі, підлоги від європейських стандартів призвело до необхідності оновлення нормативної бази і додаткового утеплення наявного житлового фонду та термомодернізації систем централізованого теплопостачання, де втрачається 20...30 % теплової енергії. Термомодернізація житлового фонду стає особливо актуальною і обов'язковою умовою для України через руйнацію 50 % електрогенерувальних потужностей, 10 % наявного житлового фонду через війну, розв'язану РФ.

У звіті, який щорічно публікує Всесвітній економічний форум — «Доповідь про індекс ефективності глобальної енергетичної системи», зазначено, що за співвідношенням витрат на імпорт енергоносіїв і ВВП, за наявності власних покладів вуглеводів Україна посіла 122 місце серед 127 країн, а за витратами енергії на одиницю ВВП — 119 місце. За даними Державної митної служби за 2020 рік імпортовано в Україну енергетичних ресурсів на загальну суму близько \$7,5 млрд, з них: нафтопродуктів — \$3,8 млрд; природного газу — \$1,9 млрд; вугілля — \$1,8 млрд.

У вересні 2022 року скасовано дію ДБН В.2.-31-2016 «Теплова ізоляція будівель» та введені в дію нові БДН В.2.-31-2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель», в яких нормативні вимоги термічного опору огорожувальних конструкцій будівлі, зокрема вікон і дверей збільшено в середньому на 20 % (табл. 1). Зазвичай вважається, що через стіни і вікна будівля втрачає до 65 % теплової енергії.

В умовах адаптації нормативної бази України до вимог ЄС для країни залишається корисним практичний досвід комплексного утеплення застарілого житла, який поширений в розвинених європейських країнах, зокрема в Німеччині. Під час утеплення фасадів будинків економічно доцільно виконувати одночасне утеплення стін, заміну вікон та монтаж рошет. На сьогодні в Україні до-

мінує «клаптикове» утеплення стін або заміна вікон житлових будинків за рахунок окремих власників квартир. Одночасна заміна вікон, утеплення стін та заміна покрівлі відбувається під час тепло модернізації громадських будівель (дитячих садків, шкіл, та інше) за рахунок коштів місцевих бюджетів.

Таблиця 1

Порівняльні показники зростання опору теплопередачі вікон та балконних дверей будівель відповідно до вимог нових ДБН В.2.6-31:2021 та старих ДБН В.2.6-31:2016.

Тип конструкції, кліматична зона	Приведений опір теплопередачі, R_g min		
	Було	Стало	Приріст, %
Вікна та балконні двері (I кліматична зона)	0,75	0,9	+20
Двері (I кліматична зона)	0,6	0,7	+16
Вікна та балконні двері (II кліматична зона)	0,6	0,7	+16
Двері (II кліматична зона)	0,5	0,6	+20

В нових ДБН В.2.6-31:2021 нормативні показники термічного опору стін будинків лише фактично наближені до стандартів європейських країнах і зросли до $4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. До прикладу, в 2020 році у сусідній Польщі показник термічного опору стін зріс до $5,00 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, хоча кліматичні умови в Україні та Польщі не різняться на 20 %, а в таких країнах північної Європи, як Норвегія ще в 2007 році і в Швеції в 2008 році прийнято показник термічного опору стіни $5,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, у Фінляндії в 2010 році він становив $5,88 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Саме тому, зокрема енерговитрати на утримання 1 м^2 житла в Україні в рази перевищують аналогічні показники європейських країн. Утепленню застарілого житлового фонду немає альтернативи в умовах зростання енергетичної залежності країни, офіційної відмови від імпорту природного газу, який Україна імпортувала з Європи за схемою так званого «реверсу» та заявам уряду про перехід на опалення нового житла електроенергією.

Мета роботи — дослідження зменшення енергоспоживання будинків шляхом одночасного комплексного утеплення стін, заміні вікон та використання ролет.

Результати досліджень

Під час проектування та будівництва будинків велику увагу приділяють світлопрозорим огорожувальним конструкціям, на які покладаються функції освітлення приміщень, захисту від зовнішнього шуму та зменшення тепловтрат. В кімнатах, призначених для постійного знаходження людей, відношення площі вікна, розрахованої з урахуванням рам, до площі підлоги має становити не менше 1 : 8, а в інших кімнатах — не менше 1 : 12. Особливо важлива наявність великих вікон в школах, дошкільних, інших навчальних закладах та громадських будівлях.

Ще в 70-х роках минулого століття провідні співробітники науково-дослідного інституту будівельної фізики (НДІБФ) за завданням Держбуду колишнього СРСР провели енергетичну оцінку наявних будівель і дійшли висновку, що в будівлях з природною вентиляцією кардинально збільшувати термічний опір зовнішніх вікон не доцільно, оскільки в холодний період року, за високої щільності заселення квартир, різко погіршувались санітарно-гігієнічні умови і це негативно впливало на здоров'я мешканців. Забезпеченість житлом в ті роки складала $9,9 \text{ м}^2/\text{люди}$, в 1960 році вона зросла до $14 \text{ м}^2/\text{люди}$. В країнах колишнього СРСР за низького забезпечення населення житлом і доступності до дешевих енергоносіїв із запізненням в 15—20 років почали зростати нормативні показники забезпечення населення житлом і нормативні вимоги термічного опору оболонки будинків.

До початку війни, розв'язаної РФ, за офіційними статистичними даними на одного українця припадало лише $24,2 \text{ м}^2$ житлової площі, що в 2,0—2,5 рази менше ніж в розвинених європейських країнах і приблизно в 3 рази менше ніж в США та Канаді.

На вимогу Європейської комісії під час відбудови України від наслідків війни буде реалізовуватись принцип «Енергоефективність передусім», оскільки він передбачає на всіх рівнях і в усіх секторах економіки врахування вимог енергоефективності. Такий підхід є обов'язковим, тому що неутеплене житло спричиняє зростання енергетичної залежності країни, зростання тарифів на комунальні послуги і в цілому гальмує будівництво. До того ж, необхідність зменшення викидів парникових газів передбачена міжнародними зобов'язаннями України щодо виконання вимог Паризької кліматичної угоди 2015 року.

За принципами переходу до зеленої енергетики та заявами НЕК «Укренерго» протягом найближчих 5—10 років планується інвестувати \$15 млрд для підвищення потужності та гнучкості енергосистеми країни шляхом будівництва нових сонячних, вітряних, акумулювальних електростанцій і електростанцій, що працюють на біопаливі. Відновлення знищених електрогенерувальних потужностей потребує великих фінансових витрат і часу. Передбачене завершення будівництва 3-го і 4-го енергоблоків Хмельницької АЕС і будівництво 2-х нових енергоблоків Рівненської АЕС, але будівництво нових АЕС може тривати 7—11 років.

На глобальному рівні будівельний сектор України має використати величезний потенціал зменшення енергоспоживання та значного скорочення викидів парникових газів. Це скорочення має відбуватися безпосередньо в наявних будинках за рахунок їхньої теплодернізації та використання ВДЕ. Зелені будинки можуть заощадити 50 % або більше енергії у 2050 році, що допоможе обмежити глобальне зростання температури 1,5—2,0 °C до 2100 року.

У відсотковому відношенні найбільші втрати тепла припадають на оболонку будівель, саме на вікна та стіни. На основі аналізу даних різних наукових джерел витрати тепла у середньому українському житловому будинку або в громадській будівлі можна розподілити на такі складові:

- втрати тепла через стіни — 30...40 %;
- втрати тепла через вікна — 20...30 %;
- втрати тепла через конструкції перекриття — 4...6 %;
- втрати тепла через дах — 6...15 %;
- втрати тепла через фундамент і цоколь — 3...5 %.

Важлива роль в зменшенні енергоспоживання будівель покладається саме на вікна. У 2021 році в Україні зареєстровано і працювало більше тисячі середніх та дрібних підприємств, у сфері продажу та виробництва металопластикових та алюмінієвих віконних конструкцій, а також декілька десятків великих компаній [6]. На рис. 1 показана динаміка виробництва вікон і світлопрозорих конструкцій в Україні [7].

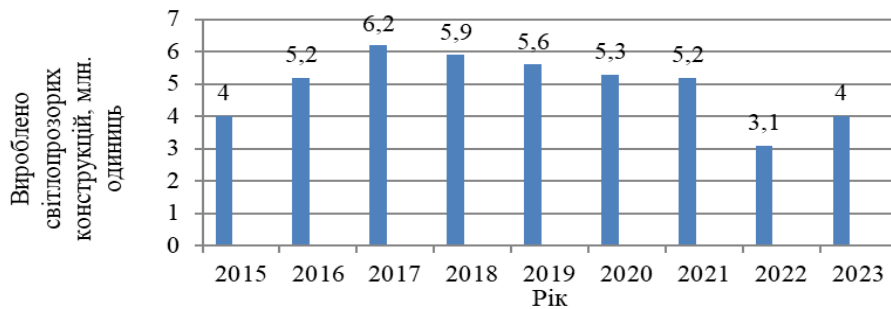


Рис. 1. Динаміка виробництва металопластикових вікон і світлопрозорих конструкцій

Як відомо, перша фабрика вікон і перші віконні рами з ПВХ з'явилися ще в 50-х роках минулого століття. За короткий термін в Європі, США, Канаді відкрилося багато заводів з виробництва металопластикових вікон, їхня популярність швидко зростала. В Україні реальна можливість встановлювати металопластикові вікна та двері з'явилася значно пізніше — в 90-х роках минулого століття. Сьогодні сучасні вікна розглядаються як цілеспрямований напрямок заощадження енергоресурсів в будівельній галузі. За даними [8] лідером з якості сировини та фурнітури для виробництва вікон в Україні стала Німеччина. Як видно з рис. 1 обсяг виробництва вікон в 2023 році відносно до попереднього 2022 року зріс на 23 %. Експорт українських вікон за останні 4 роки збільшився утричі. Найуспішнішим для українських виробників вікон став 2021 рік. Структура експорту українських вікон показана на рис. 2 [9]. Українські підприємства з виробництва вікон працюють на німецьких технологічних лініях з використанням імпортованих комплектуючих. Продукція українських виробників вікон відповідає європейським сертифікатам і експортується в інші країни.

Після здобуття Україною незалежності і з переходом до ринкової економіки виробництво усіх видів скла в Україні значно скоротилось. Виробництво віконного скла становило у 1990 році 52 млн м², а у 2007 році скоротилось до 20 млн м². Обсяги виробництва полірованого скла зменшились з 7,8 до 4 млн м², а армованого скла від 3,5 до 0,1 млн м² [10]. За даними Державної митної служби в 2021 році Україна імпортувала майже 340 тис. т термополірованого скла на суму понад 4 млрд грн. Приблизно 150 тис. т скла завозилося з РФ, до 100 тис. т — з Білорусі.

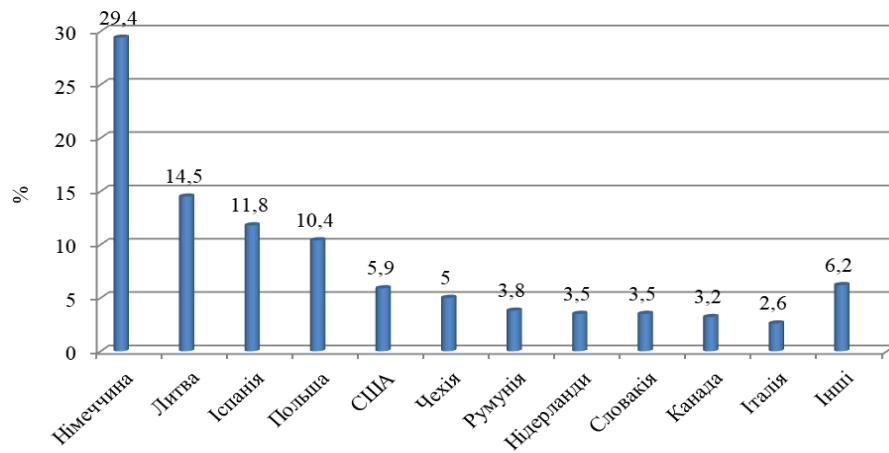


Рис. 2. Структура експорту вікон, виготовлених в Україні

На сьогодні імпорт скла з РФ зупинено, а імпортерами флюат-скла в Україну стали Польща, Туреччина, Франція, Чехія та інші країни. Розпочато будівництво заводу у Київській області, а на Міжнародній конференції з питань відновлення України (URC2024), яка проходила в червні 2024 року у Берліні, заявлено про великий інвестиційний проєкт з виробництва скла вартістю більше ніж 200 млн євро у Житомирі.

Головною перевагою полівінілхлоридних (ПВХ) виробів є їхня довговічність. Пластик стійкий до дії навколишнього середовища, не піддається дії вологи, перепадам температури, не потребує періодичного фарбування. Завдяки якісному ущільнювачу такі вікна не потребують додаткового утеплення на зиму, вони легко миються і тривалий час зберігають привабливий зовнішній вигляд.

Вікна з потрійним склопакетом характеризуються вищим рівнем теплоізоляції, але є відносно важкими і пропускають менше світла, тому перевага віддається вікнам з подвійним склопакетом, які зазвичай дешевші і є найпоширенішими за показником «ціна–якість». Сучасні вікна складаються з багатьох комплектуючих і передбачають можливість вибору матеріалу профілю — пластик, деревина, алюміній, сталь і дерево-алюмінієві профілі (рис. 3).



Рис. 3. Зовнішній вигляд найпоширеніших профілей сучасних вікон

У більшості розвинених країн опір теплопередачі найпопулярніших вікон становить $0,65 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ і більше. В пострадянських країнах тривалий час використовувались дерев'яні вікна з опором теплопередачі $0,39 \dots 0,42 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Такі вікна потребують періодичного фарбування та ущільнення. В країнах ЄС за короткий проміжок часу отримали поширення вікна з показником опору теплопередачі $0,5 \dots 0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, а до початку 90-х років цей показник зріс до $0,75 \dots 0,95 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

В останні роки з'явилися вікна з термічним опором $1,6 \dots 2 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ і так звані «супервікна», опір теплопередачі яких більше $2 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. В такому випадку вікно фактично наближається до джерела енергії, якщо розглядати його вплив на тепловий баланс будівлі в річному циклі експлуатації.

Важливу роль у сучасному вікні відіграє віконний профіль, який залежить від його ширини. Найкращу теплоізоляцію забезпечують профілі шириною більше 80 мм. Коефіцієнт теплопередачі самого склопакета залежить від типу склопакета, дистанційних рамок і матеріалу наповнення між стеклами. Під час вибору енергозберіжних вікон проєктанти та будівельники звертають увагу на коефіцієнт теплопередачі для всього вікна, для енергоефективних будинків він має бути в межах від $0,85$ до $1,0 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$.

Згідно з нормативними вимогами вікна за показником приведенного опору теплопередачі поді-

ляють на 10 класів. В табл. 2 подані класи вікон і опір їхньої теплопередачі відповідно до вимог чинного державного стандарту — ДСТУ Б В.2.6-23-2009. «Конструкції будинків і споруд. Блоки віконні та дверні. Загальні технічні умови». Маркування класів енергоефективності здійснюється літерами українського алфавіту від А1 до Д2, де «А» — найкращий показник, а «Д» відповідно найгірший.

Таблиця 2

Приведений термічний опір теплопередачі вікон відповідно до вимог чинного стандарту

Класи вікон	Приведений опір теплопередачі вікна
A1	0,80 м ² · К/Вт і більше
A2	від 0,75 м ² · К/Вт до 0,79 м ² · К/Вт
B1	0,70 м ² · К/Вт » 0,74 м ² · К/Вт
B2	0,65 м ² · К/Вт » 0,69 м ² · К/Вт
B1	0,60 м ² · К/Вт » 0,64 м ² · К/Вт
B2	0,55 м ² · К/Вт » 0,59 м ² · К/Вт
Г1	0,50 м ² · К/Вт » 0,54 м ² · К/Вт
Г2	0,45 м ² · К/Вт » 0,49 м ² · К/Вт
Д1	0,40 м ² · К/Вт » 0,44 м ² · К/Вт
Д2	0,35 м ² · К/Вт » 0,39 м ² · К/Вт

Подібно класам енергоефективності побутової техніки, класифікація вікон поповнили неофіційні класи енергоефективності (А+, А++, А+++). Класи енергоефективності вікон А+, А++ і А+++ стосуються світлопрозорих конструкцій з термічним опором більше 0,8 (м²· К)/Вт. Згідно з вимогами ДБН енергоефективними є вікна, приведений опір теплопередачі яких більший ніж 0,75 м²· К/Вт для І температурної зони (вікна класу А1 та А2) та більше ніж 0,6 (м²· К)/Вт для ІІ температурної зони (вікна класу А1, А2, Б1, Б2, В1).

Український ринок виробництва вікон є імпортоорієнтованим. Основними постачальниками комплектуючих є країни Європи, а лідером якості сировини та фурнітури є Німеччина. У 2020 році найпопулярнішими фірмами-виробниками пластикових та металопластикових віконних профілів в Україні були Viknar'off, WDS, Epsilon, Viknaland, Термопласт плюс, Екранвікно світ, АМТТ, Stekloplast, Steko, Darwin, Panorama [11].

Виробники вікон [12] активно інвестують у технічне переоснащення виробництва, нарощуючи свої промислові потужності, посилюють контроль якості продукції та монтажних робіт. Висока енергетична ефективність вікон досягається за рахунок:

- камерності склопакетів;
- наповнення камер інертними газами (аргон, криптон);
- енергозбережного та сонцезахисного напилення на склі;
- використання «тепліх» дистанційних рамок у склопакеті (з полімерних матеріалів).

Важливим є те, що сьогодні існує можливість придбати вікна, виготовлені за індивідуальним замовленням. Це стосується розмірів, кількості склопакетів, кольору, форми тощо.

На рис. 4 показані порівняння значень коефіцієнтів теплопровідності інертних газів і повітря, якими заповнюється склопакет сучасних вікон.



Рис. 4. Коефіцієнт теплопровідності повітря та інертних газів за температури 10 °С

Склопакет, наповнений інертним газом, здатний в 2,5 рази знизити показник віддачі тепла з приміщення на вулицю у порівнянні з вікнами, в яких камери склопакета заповнюються звичай-

ним повітрям. Економія тепла у разі установки склопакета з аргоном досягає 60 %, в порівнянні зі звичайними склопакетами, заповненими повітрям. За теплоізоляційними властивостями однокамерний склопакет з аргоном схожий на двокамерний, що заповнений повітрям. [13].

Інноваційні рішення зростання енергетичної ефективності вікон

Світові тенденції будівництва житлових будинків спрямовані на перехід до будівництва енергоефективних, пасивних будинків, тому постійно продовжуються наукові та експериментальні дослідження, спрямовані на покращення експлуатаційних властивостей склопакетів, які забезпечують підвищення теплоізоляційних, звукоізоляційних властивостей вікон.

Щоб створити максимально комфортну атмосферу у приміщенні використовуються флоат-скло, яке виготовляється шляхом нанесення скляної маси на розплавлену поверхню свинцю. В результаті такої технології скло виходить ідеально рівним, гладким, з найвищою світлопроникністю. Англійське слово «float» означає «гладкий». До сімейства енергозбережного скла відноситься *k*-скло. Його виробництво передбачає нанесення на ще не остигле флоат-скло піролізним методом металоксидного шару та напилення. Внаслідок цього скло набуває енергозбережні функції — однією стороною воно повертає значну частину теплового випромінювання (інфрачервоний діапазон) у приміщення (рис. 5).

Розрізняють два види скла з додатковим напиленням: *k*-скло — отримують нанесенням оксидів металів товщиною приблизно 0,4...0,5 мкм, що практично не впливає на світлопропускання вікна:

I-скло — технологія складніша, плівка отримується подвійним напиленням у вакуумі декількох шарів, які чергуються, тому скло є дорожчим, а між оксидними шарами наносяться шари чистого металу (зазвичай використовується срібло товщиною 10...15 нанометрів).

I-скло забезпечує більший приріст теплозбереження ніж у *k*-скло. Саме тому більшість виробників вікон переважно використовують *i*-скло. На-

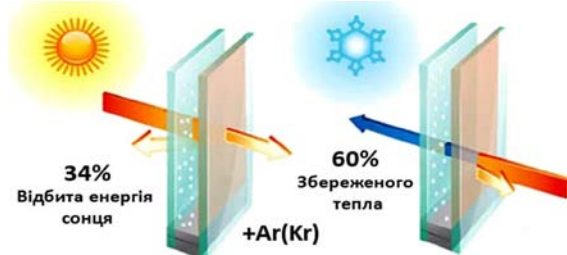


Рис. 5. Принципова конструктивна схема улаштування сучасного енергоефективного вікна

явні віконні та фасадні конструкції вікон допомагають захищати приміщення від їхнього перегріву сонячною радіацією влітку і повертати тепло в приміщення взимку. Принципова схема функціонування сучасного енергозбережного вікна показана на рис. 5.

Відповідно до тверджень у [14] для збільшення загального опору теплопередачі світлопрозорих конструкцій необхідно передбачати такі заходи:

- надійно герметизувати всі стики та притвори, як у самому вікні, так і між конструкцією, вікна та стіни шляхом їхнього запінення пінополіуретаном;
- для зменшення втрат випромінювання тепла необхідно використовувати скло із низькоемісійним покриттям та заповнювати міжскляний простір у склопакетах вікон інертними газами (аргоном і криптоном);
- використовувати дистанційні рамки віконних заповнень із поліпшеними теплозахисними характеристиками;
- для виготовлення віконних рам використовувати у вікнах із ПВХ багатокамерні профілі, а у вікнах із алюмінієвими профілями передбачати термовставки.

Витрата енергії на опалення та охолодження пасивного будинку мають бути на 80 % нижче ніж у звичайних будівлях [15]. Відповідно до європейських норм (EN 10077) коефіцієнт теплопередачі для теплих вікон повинен становити менше 0,8 Вт/(м²·К).

Німецький досвід утеплення фасадів будинків

Для України є корисним досвід впровадження передового європейського досвіду утеплення фасадів будинків, зокрема досвід Німеччини. Він передбачає комплексне утеплення фасадів будинків шляхом одночасного утеплення стін, заміни вікон та влаштування ролет на вікнах.

Сонячні промені влітку, проникаючи в приміщення можуть перегрівати приміщення, псувати оздоблення м'яких меблів, штор під дією ультрафіолету. Більше того, виникає необхідність примусового охолодження приміщення. В зимовий період холодний потік повітря «обдуває» вікна і приводить до їхнього охолодження. Передовий європейський досвід свідчить, що для забезпечення енергозбереження в будинку недостатньо просто замінити старі на нові якісні вікна, і необхідно

щоб віконні прорізи певною мірою додатково захищалися від атмосферних факторів. Для цього використовуються забуті віконниці.

В Україні понад 150 років тому були поширені віконниці — це непрозорі дерев'яні щити, якими прикривали віконні отвори. Вони виготовлялись з дерева і фіксувались на стінах будинку. З появою виробництва і доступності скла використання віконниць поступово зменшувалось. Для України і колишніх республік СРСР цьому сприяла наявність доступних дешевих енергоносіїв. З часом ситуація кардинально змінилась і в багатьох європейських країнах віконниці отримали нове життя.

На рис. 6 показані фрагменти, запозичені з музеїв України, зовнішнього вигляду вікна з використанням віконниць. До появи скла в українських хатах вікон в нашому розумінні практично не існувало. Замість них у колодах будинку прорізали невеликі отвори (волокові вікна з засувкою). Вони більшою мірою використовувались для вентиляції, в той час будувались (курні хати), дим виходив прямо у невелику кімнату. Пізніше невеликі віконні отвори закривались волячим міхуром, плівкою, знятою з живота тварини, яка пропускала світло всередину приміщення.



Рис. 6. Зовнішній вигляд еволюції фасадів і вікон української хати з використанням віконниць

На шляху пошуку додаткових джерел економії енергетичних ресурсів в утриманні будівель європейські країни повернулись до «віконниць», але в оновленому варіанті. На будівельному ринку України є доступними ролети, але відсутня масштабна практика їхнього використання як масового додаткового комплексного засобу додаткового утеплення будівель. При чому, сучасні ролети зручні у використанні, вони можуть управлятись в ручному або в автоматичному режимі за принципом «день–ніч» або з урахуванням зовнішньої температури.

В європейських країнах колишні віконниці трансформувались в різноманітні жалюзі і ролети, які використовуються в залежності від орієнтації будівлі і місця її розташування [16]. Принцип їхньої дії дуже простий: віконний простір (між вікном та ролетами) стає «повітряною подушкою», яка затримує вихід тепла з приміщення, забезпечують додатковий захист від шуму. Ролети виключають обдув вікна холодним повітрям зимою, в спекотний день обмежують проникнення сонячних променів в приміщення,



що зменшує перегрів приміщення та витрати електроенергії для роботи кондиціонерів.

Цілком очевидним і раціональним підходом до утеплення застарілого житла є одночасне утеплення стін, заміна вікон і встановлення ролет і в багатоповерхових будинках з урахуванням орієнтації будинку. Ролети допомагають зменшити тепловтрати на опаленні та охолодженні будинку, на що в країнах ЄС приділяють належну увагу.

На рис. 7 показаний фрагмент одночасної заміни вікон, утеплення стін і облаш-

Рис. 7. Фрагмент комплексного утеплення стін з одночасною заміною вікон та влаштуванням ролет (німецький досвід, м. Хайльброн, 2023 рік)

тування ролет. Захисні ролети або рольставні (англ. roll — рулон, укр. віконниці) — різновид жалюзі, яка виконана у вигляді рулону, двох напрямних і ковзних по них пластин. В країнах ЄС ролети це не пережиток минулого, а корисний унікальний дизайнерський елемент влаштування сучасного енергоефективного фасаду малоповерхового і висотного будинку.

Результати випробувань показали, що у разі встановлення ролет тепловтрати через вікна знижуються більше ніж на 30 %. Інститут вікон (Institute ift Rosenheim) — комплексна організація Німеччини, яка спеціалізується на тестуванні, дослідженні та сертифікації вікон, дверей, воріт, фасадів, а також частини цього продукту, співпрацює з 87 національними комітетами відповідно до стандартів усього світу проводить комплекс досліджень ролетів у різних випробувальних центрах [17].

Хоча Україна за короткий проміжок часу перетворилась з імпортера в експортера віконної продукції [18], але з огляду на світовий досвід, спрямований на постійне вдосконалення якості вікон лише виробляє традиційні металопластикові вікна і переважно за рахунок відносно низького рівня заробітної плати робітників, є потужним експортером. Провідні світові компанії постійно підвищують якість віконної продукції.

Сьогодні на європейському ринку вікон використовується вакуумне скло (Vacuum glass (VG) або Vacuum insulated glass (VIG)). У разі самостійного застосування або в складі склопакетів це може стати наступним технологічним проривом в розвитку виробництва вікон. Термічний опір вакуумного склопакета становить $R = 2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Це на 78 % краще ніж двокамерний склопакет з двома i -стеклами і аргоном, який виробляють лише окремі виробники вікон в Україні. За використання вакуумного скла в складі однокамерного склопакета термічний опір підвищується до $R = 3,2 \dots 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ з використанням аргону або криптонону. Цей показник ідентичний розміру термічного опору стіни, який діяв до вересня місяця, до введення в дію ДБН В.2.6-31:2021 в 2022 році. У разі застосування VIG у двокамерному склопакеті товщиною 41 мм з наповненням криптоном R підвищується до фантастичного значення $4,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ [19], що більше ніж в 10 раз у традиційного дерев'яного вікна.

Не менш вагомим і перспективним інноваційним рішенням в технології виробництва вікон стало використання вікна як опалювального приладу. Склопакети з підігрівом є новим варіантом скління. Так зване HS Glass складається з таких шарів: загартоване скло; нагрівальний прошарок з живленням від електромережі 220 В; повітряна камера; загартоване скло з покриттям на основі срібла; покриття для відображення інфрачервоних променів в кімнату; повітряна камера; поліроване скло. Вікна зі склопакетом з електричним підігрівом є ефективними для власників будинків з мансардними вікнами і скляними дахами. Електропровідне покриття знаходиться усередині склопакета, тому воно не руйнується і є безпечним. За кілька хвилин скло нагрівається до комфортної температури і може бути постійним і додатковим джерелом опалення, зберігаючи основні функції традиційного вікна. Внаслідок установки такого вікна тепловтрати зменшуються в порівнянні зі стандартними вікнами від 30 % до 3 %. Таке вікно перешкоджає витоку тепла з приміщення, що сприяє економному витрачання електроенергії, необхідної для підігріву [20].

Висновки

В умовах дефіциту енергоносіїв одночасне утеплення стін, заміна вікон та влаштування ролет має низку переваг і великі перспективи для впровадження під час відбудови зруйнованого житла, утепленні застарілих будівель та будівництві нового житла. Українська практика заміни вікон і клаптикового утеплення фасадів потребує переходу до комплексного утеплення.

Реальний стан енергетичного забезпечення житлового фонду відповідно до стандартів ЄС потребує впровадження кращих європейських практик термомодернізації застарілого житлового фонду, який має реалізовуватись за принципом «Відбудувати краще, ніж було».

Використання скла з низькоемісійним покриттям, заповнення аргоном, криптоном міжскляного простору у склопакетах забезпечує значний приріст термічного опору сучасних вікон. Одночасне утеплення стін, заміна вікон та монтаж ролет не тільки поліпшують тепловий захист фасадів будівель, але й прискорюють виконання теплоізоляційних робіт, зменшують їхню вартість.

2021 рік став найуспішнішим для українського ринку вікон — Україна мала 0,4 % світового експорту металопластикових вікон та дверей, що відповідає 27-му місцю у світовому рейтингу. За останні 20 років Україна наростила експорт українських вікон приблизно у 70 разів, а за останні 4 роки — утричі.

Інноваційні технології виробництва вікон спрямовані на використання вакуумних склопакетів та виробництво вікон, як нагрівальних елементів. Сучасні металопластикові вікна є важливою складовою в зменшенні витрат енергії під час утримання будинків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] М. П. Ковалко, і С. Л. Денисюк, *Енергозбереження — пріоритетний напрямок державної політики України*, К.: НАН України, АТ «Енергозбереження», 1998, 506 с.
- [2] M. Fesanghary, S. Asadi, and Z. W. Geem, “Design of low mission and energyefficient residential building using a multi objective optimization algorithm,” *Building and Environment*, no. 49, pp. 245-250, 2012.
- [3] В. Р. Сердюк, Т. В. Сердюк, і С. Ю. Франишина, «Підвищення ролі будівельної галузі у сповільненні глобального потепління», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 5, с. 6-15, 2022. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-164-5-6-15>.
- [4] Доповідь на *Investors Annual Meeting, UkraineInvest*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ukraineinvest.gov.ua/news/01-12-2023/>.
- [5] О. В. Комеліна, і С. А. Щербініна, «Сучасні проблеми забезпечення енергоефективності житлового будівництва в Україні», *Проблеми економіки*, № 3, с. 108-114, 2014.
- [6] *Обсяг реалізованої промислової продукції за видами діяльності (річна інформація)*, Офіційний сайт Державної служби статистики України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2013/pr/orp_rik/arh_orp_rik_u.html.
- [7] *Віконний ринок України за 2023 рік*: виробництво вікон зросло на 26 %. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://derevnyuk.com/predstavleno-oglyad-vikonno-go-rynku-ukrayiny-za-2023-rik/>.
- [8] *Analiz rynku metaloplastykovykh konstruksii*. [Analysis of the market of metal-plastic structures]. [Electronic resource]. Available: https://studwood.ru/1574915/ekonomika/analiz_rinku_metaloplastikovih_konstruksiy. Accessed: 04.02.2021.(in Ukrainian).
- [9] *Рекордний експорт пластикових вікон та дверей українського виробництва*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://okna.ua/ua/library/rekordnyu-eksport-plastykovykh-vikon-ta>.
- [10] *Скляна промисловість України*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://tex.library.te.ua/2022/11/blog-post_15.html?m=0.
- [11] Н. С. Косар, і Я. І. Яричевська, «Дослідження галузі метало пластикових вікон України та напрями активізації їх виробниками інтернет-технологій», Національний університет «Львівська політехніка», *Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку*, № 1 (7), с. 99-114, 2022.
- [12] *Стан ринку металопластикових вікон в Україні*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://nova-era.rv.ua/index.php/39-stanrynku-metaloplastykovykh-vikon-v-ukraini>.
- [13] *Інертні гази для заповнення склопакетів*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://sklopaket.com/gaz-argon-v-sklopakete>.
- [14] О. Л. Підгорний, та ін. *Світлопрозорі огороження будинків*, навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., О. Л. Підгорний, Ред. К., Україна: вид-во Домашевська О. А., 2005, 282 с.
- [15] *Пасивний будинок: що це, переваги та недоліки*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://comfortsellers.com.ua/pasyvnyy-budynok-shcho-tse-perevahy-ta-nedoliky/>.
- [16] В. Р. Сердюк, і С. В. Рудик, «Підвищення ролі вікон при теплоізоляції фасадів будинків: німецький досвід», у *Матеріали LIII Всеукраїнська НТК ВНТУ*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-ininv/all-fbtegp-2024/index>.
- [17] *ift Rosenheim: надання гарантії якості продукції*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://okna.ua/library/art-ift_rosenheim_predostavlenie_garantii.
- [18] *Рекордний експорт пластикових вікон та дверей українського виробництва*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://okna.ua/ua/library/rekordnyu-eksport-plastykovykh-vikon-ta>.
- [19] *Вакуумні склопакети: новий рівень розвитку віконних технологій*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://okna.ua/ua/library/vakuumni-sklopakety-enerhozberihayuchi#table-of-contents-h2h3class-name-0>.
- [20] *Склопакети з обігрівом або теплі вікна*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://standartvikna.com.ua/uk/blog/steklopakety-s-obogrevom>.

Рекомендована кафедрою будівництва, міського господарства та архітектури ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 26.12.2024

Сердюк Василь Романович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, e-mail: vasromvs@gmail.com ;

Лавренюк Лілія Анатоліївна — студентка факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, e-mail: lillavrenyuk@gmail.com

V. R. Serdyuk¹
L. A. Lavrenyuk¹

Relevance of Increasing Thermal Protection of Buildings as a Result of Using Modern Windows

¹Vinnitsia National Technical University

It is shown that in the conditions of Ukraine's refusal to import natural gas since 2023, the destruction of 50 % of energy generating capacities as a result of the war of Russia against Ukraine, the issues of not only the restoration of electricity generating capacities and 10 % of destroyed housing, but also the need for thermal modernization of almost 90 % of the existing housing stock, which was built with low regulatory requirements regarding the thermal resistance of the "shell" of buildings acquire especial significance. The construction sector of the economy has large potential for reducing energy consumption.

Study of the advanced European experience in the sphere of thermal modernization of outdated housing stock by means of simultaneous insulation of walls, replacement of windows and installation of roller shutters accelerates the duration and reduces costs for insulation of facades of outdated housing. It is shown that the walls and windows of the building are responsible for the loss of almost 65 % of thermal energy by the building; the construction sector of the economy consumes 40 % of all energy carriers and is responsible for 36 % of greenhouse gas emissions.

Excessive burning of fossil fuels (coal, oil, natural gas) leads to an increase in carbon dioxide emissions and global temperature increases. Ukraine, like other countries in the world, has undertaken international obligations to reduce greenhouse gas emissions. In Ukraine, new DBN were put into effect in 2022, which provide for an increase in regulatory requirements for the thermal resistance of enclosing structures. Advanced world experience involves abandoning patchwork wall insulation, which is common in Ukraine, and switching to combined and simultaneous wall insulation, window replacement, and roller shutter installation. The advantages of such a thermal modernization technology are quite obvious.

Ukrainian window manufacturing enterprises operate on German production lines using imported components. It has been shown that over the past 20 years, Ukraine has significantly increased the production of modern windows. The export of Ukrainian windows has increased approximately 70 times, and over the past 4 years, it has tripled. In the context of adapting the regulatory framework of Ukraine in the field of construction to the requirements of EU countries, it provides for a transition to the construction of energy-efficient and passive houses, and thermal modernization of the outdated housing stock is an urgent task for Ukraine.

Keywords: energy saving in construction, ecology, regulatory framework, dynamics of production of metal-plastic windows, inert gases, comprehensive insulation of buildings.

Serdiuk Vasyl R. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Civil Engineering, Urban Planning and Architecture. e-mail: vasromvs@gmail.com ;

Lavreniuk Liliya A. — Student of the Department of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, e-mail: lillavrenyuk@gmail.com