

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 72:621.311

І. А. АРУТЮНЯН^{1*}, О. Д. ЖАМІЛОВ², Г. Є. ВЕРЕМІЙ³

^{1*} Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69606, тел. +38 (066) 900 78 28, ел. пошта iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-5049-3742

² Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69606, тел. +38 (068) 323 93 68, ел. пошта olegzhamilov@gmail.com, ORCID 0009-0008-3212-0054

³ Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69606, тел. +38 (050) 504 78 55, ел. пошта veremiy_glib@i.ua, ORCID 0009-0001-6487-1118

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ПОЛІТИКА В ЦИВІЛЬНОМУ БУДІВНИЦТВІ: МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ

Мета. Аналіз проблем впровадження сучасних енергоефективних систем в Україні на підґрунті дослідження переваг сучасних технологій перед існуючими, задля порівняння та застосування їх в енергоефективній політиці цивільного будівництва. **Методика.** Сьогодні в Україні незмінним пріоритетом залишається вирішення проблеми енергозбереження в цивільному будівництві. Подолання цієї перешкоди багато в чому визначає вихід України з економічної кризи. За підрахунками, затрати енергоресурсів на опалення бюджетних установ в Україні у 2...3 рази вищі, ніж в країнах Євросоюзу на ці ж потреби. В основі цього лежить застарілість будівельного фонду України з часів інтенсивної забудови 60-80-х рр. ХХ ст. Багато країн вже успішно впроваджують нові технології, матеріали та конструкції, які допомагають підвищити енергоефективність будівель. До прикладів можна віднести: концепцію будівництва, яка базується на ідеї створення будівлі, що не вимагає активного опалення та охолодження – «пасивний будинок», використання SIP-панелей з вторинної сировини, використання вікон зі склопакетами з технологією «теплого краю», створення енергоефективних огорожувальних конструкцій на зразок будівельних проектів «The Edge», «ZEB Pilot House», «BedZed». **Результати** дослідження повинні стати основою для розробки рекомендацій щодо підвищення енергоефективності в цивільному будівництві. **Наукова новизна.** Аналіз поточних проблем впровадження енергоефективної політики в Україні у розрізі різноманітних аспектів, таких як юридичний, економічний, технічний, соціальний тощо. Розглянуті кейси успішного впровадження енергоефективних заходів та технологій в цивільному будівництві країн Європи. **Практична значимість.** Аналіз реального енергетичного стану будівельного фонду країни є підґрунтям для розробки і підтримки розвитку енергоефективної політики. Розглянуті кейси впровадження енергоефективних технологій можуть стати важливим джерелом інформації для українських фахівців з будівництва, що дозволить значно підвищити енергоефективність новобудов, зменшити енергозалежність від критичної інфраструктури, заощадити кошти цивільних мешканців та підвищити комфортність умов проживання.

Ключові слова: енергоефективність; енергозбереження; інновації; цивільне будівництво; технологія

Вступ

Ми протягом десятиліть жили у світі, де ресурси розглядалися як невичерпні та дешеві. Але зараз усвідомлено, що збереження енергоресурсів та енергоефективність є ключовими завданнями сучасної економіки. Ці тенденції є важливими з політичної та економічної точок зору, оскільки вартість енергоресурсів залишається високою. На жаль, у минулому ми не завжди брали до уваги антропогенний вплив на довкілля, що призвело до створення «важкої» економіки, обслуговування якої вимагає надмірної кількості енергоресурсів. Нові напрямки розвитку диктують потребу у створенні більш

енергоефективних рішень і технологій, які дозволять зменшити споживання енергоресурсів та підвищити ефективність використання наявних ресурсів.

Україна в цих питаннях солідарна із політикою енергозбереження Європи. Політика енергозбереження та енергоефективності сьогодні є надзвичайно актуальною для України. З цим пов'язана сукупність проблем, а саме екологічних, економічних, політичних та соціальних. Саме тому запровадження енергоефективної політики в Україні є комплексним завданням, вирішення якого матиме багато позитивних наслідків як для суспільства, так і для безпеки навколишнього середовища.

В сучасних умовах зменшення доступу до природних енергетичних ресурсів та зростання антропогенного впливу на довкілля, що супроводжується його забрудненням, актуальним питанням цивільного будівництва є підвищення рівня енергоефективності будівель, що проєктуються або реконструюються.

Світова енергетика перебуває у процесі масштабних змін – відбувається інтенсивне використання нових технологій поновлюваної енергетики за умов відповідного зниження їх вартості. Підвищення уваги до питання енергоефективності обумовлено низкою суттєвих вигод для економіки країни, а саме зниження залежності від імпорту первинних енергетичних ресурсів та підвищення рівня енергетичної безпеки держави. Зниження кількості природних ресурсів планети та забруднення довкілля електростанціями, що працюють на викопному вуглеводневому паливі, змінили вектор розвитку політики в бік енергоефективності та енергоефективних технологій у будівництві.

Дослідження з енергоефективності останніх років вказують на те, що Україна, яка споживає приблизно 60 % імпортованих енергоресурсів, наразі є однією з найбільш енергозалежних країн Європи. Причинами цього є обмежена кількість енергоресурсів та їх неефективне використання, що в майбутньому може стати передумовою енергетичної кризи. Саме тому усунення проблем у сфері енергозбереження та енергоефективності є пріоритетним завданням у галузі будівництва (Кицькай, 2013).

Мета

Аналіз проблем впровадження сучасних енергоефективних систем в Україні. Розгляд актуальності реформації політики енергозбереження у галузі будівництва задля впровадження тенденцій розвитку енергоефективних заходів в цивільному будівництві. Основні завдання дослідження включають аналіз успішних практик та інноваційних технологій, які використовуються в Україні та зарубіжних країнах у розрізі підвищення енергоефективності у будівництві та оцінку їх потенціалу для застосування у сучасних умовах вітчизняного виробництва. Наведено переваги сучасних технологій перед застарілими. Основні результати дослідження повинні стати основою для розробки рекомендацій щодо підвищення енергоефективності в

цивільному будівництві, а також сприятимуть подальшому розвитку інноваційних технологій та матеріалів у цій галузі, що на практиці дозволяє значно підвищити енергоефективність цілої будівлі, зменшити енергозалежність від критичної інфраструктури, заощадити кошти цивільних мешканців та підвищити комфортність умов проживання.

Методика

Для України незмінним пріоритетом у зовнішній політиці є євроінтеграція. Однак для досягнення цієї мети слід виконати умови, які відносяться до найбільш проблемних сфер, однією з яких є енергоефективність у цивільному будівництві. До того ж підвищення енергоефективності є одним з ключових завдань концепції сталого розвитку, яка з'явилася в результаті об'єднання трьох основних складових: економічної, соціальної та екологічної (Боровик, Слагін, & Полякова, 2021; Кінаш, 2015).

Рішення проблеми енергозбереження багато в чому визначає вихід України з економічної кризи. Ефективне використання енергії знижує залежність від країн-постачальників паливно-енергетичних ресурсів, зменшує енергоємність національних товарів. Будівництво є досить енергозатратною галуззю національної економіки і суттєво впливає на формування показників енергоємності валового національного продукту та конкурентоспроможність вітчизняних товарів на світових ринках.

Для вироблення одиниці ВВП Україна витрачає енергії майже втричі більше, ніж Польща, яка має подібну чисельність населення. Україна залишається серед десяти найбільш енергоємних країн у світі, енергоємність якої майже втричі перевищує середній показник ОЕСР. Після розпаду Радянського Союзу Україна успадкувала енергоємну економіку, застарілі системи централізованого опалення та неякісні будівлі. Історично Україна була залежною від імпорту російського природного газу. З 1991 по 2008 роки Україна імпортувала близько 80 % спожитого природного газу. Історично природний газ був найважливішим паливом в енергопостачанні України. Після економічного спаду в 2009 і 2010 роках та різкого підвищення цін на природний газ Україна почала займатися питанням своєї енергетичної залежності від російського газу. Частка імпорту в спожи-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ванні природного газу зменшилася з 60 % у 2012 році до 33 % у 2018 році, однак в 2019 році знову зросла – до 48 % (Уряд України, 2021). Повномасштабне вторгнення рф в Україну призвело до того, що країни Європи ще навесні 2022 р. прийняли рішення про скорочення споживання російського газу, що послідовно виконується. Тому енергетичний 2023 рік – Європа виграла бій у рф.

Енергоефективність виступає критерієм якості функціонування економічної моделі держави, злагодженої взаємодії між суб'єктами господарювання, які забезпечують життєдіяльність країни, оскільки це безпосередньо впливає на якість життя громадян. Для населення підвищення енергоефективності житлових та громадських будівель дозволяє зменшити витрати на закупівлю енергетичних ресурсів, адже будівлі є одним з найбільших споживачів енергоресурсів. На них припадає понад 40 % від загального енергоспоживання. Для суспільства це вірний напрямок для наближення до рівня сталого розвитку (Кицкай, 2013).

Так, однією з перешкод у процесі повноцінного переходу до «зеленого» будівництва є висока вартість екологічно чистих матеріалів і нових технологій. До того ж планування таких проєктів потребує більше часу, особисто, через необхідність отримання сертифікатів енергоефективності.

Оцінюючи енергоефективність будівель України в контексті правових вимог, викладених у директивах Ради та Європейського Парламенту та в українському законодавстві (Закон України «Про енергетичну ефективність будівель»), було виявлено, що будівлі в Україні характеризуються низькою енергоефективністю, а споживання енергії для функціонування будівлі відповідно до її призначення є відносно високим. Крім того, новобудови в багатьох випадках характеризуються незадовільною якістю енергопостачання. Хоча українське будівельне законодавство вимагає, щоб нові будівлі проєктувалися і будувалися таким чином, щоб забезпечити відповідні енергетичні характеристики і раціоналізацію енергоспоживання, а детальні вимоги щодо цього закріплені в Положенні про технічні умови, яким повинні відповідати будівлі та їх розміщення, нинішні будівлі дуже часто не відповідають мінімальним вимогам, і тому їх енергетична якість є незадовільною. Се-

ред причин фахівці називають, як неузгодженість чинного законодавства, так і брак висококваліфікованих інженерів, проєктувальників та підрядників і виконробів на будівництві.

Водночас виникає нова проблема – у вигляді енергії, яка використовується під час виробництва будматеріалів, їх транспортуванні та в процесі знесення споруд. Вуглецевий слід за період функціонування об'єкта (у середньому 60 років) становить 75 %.

За розрахунками Architecture 2030, щорічно на нове будівництво приходиться близько 3,7 млрд. метричних тонн парникових газів, що еквівалентно річним викидам від 950 вугільних електростанцій.

Щоб зменшити вплив на довкілля, актуальними залишаються такі заходи, як модернізація вже існуючих будівель, будівництво з урахуванням принципів сталості та повторне використання матеріалів, зокрема, після демонтажу будівель.

Також незабаром можна очікувати появу нових низьковуглецевих матеріалів. До слова, на бетон, сталь і алюміній, тобто матеріали, які найчастіше використовують у будівництві, припадає 23 % глобальних викидів.

Проблема енергоефективності в будівництві також нерозривно пов'язана з проблемою енергетичної бідності. Енергетична бідність негативно впливає не лише на якість життя постраждалих, але й на навколишнє середовище, через деградацію житлового фонду та довкілля, що унеможливорює економію енергоресурсів. Сам термін «енергетична бідність», який давно відомий в Європі, зазвичай асоціюється з певною групою людей, які страждають від депривації, так званою соціально вразливою групою. Ця група не може використовувати достатню кількість енергії для гідного життя, або взагалі не має доступу до неї. В Україні проблема енергетичної бідності різко загострюється через військову агресію рф, економічні проблеми, втрату робочих місць, зростання безробіття, міграцію населення до міст, а також зростання групи людей, які живуть у крайній бідності і не можуть дозволити собі оплачувати рахунки не тільки за енергію, паливо та інші комунальні послуги (необхідні для гідного повсякденного життя), але й за житло. Погіршення житлових умов призводить до вимушеної економії, що призводить до недогріву житлових приміщень

і, як наслідок, до втрати здоров'я або навіть життя. Згідно з дослідженням Енергетичного співтовариства, в Україні станом на листопад 2022 року енергетично бідними є 28...30 % населення (Степаненко, 2010).

Нині в Україні функціонує орієнтовно 77 тис. установ, які фінансуються коштом бюджетних організацій: державного і місцевих рівнів. За підрахунками фахівців, затрати енергоресурсів на опалення бюджетних установ в Україні у 2–3 рази вищі, ніж у країнах Євросоюзу на ці ж потреби. Причинами цього є технічно застарілі

житлові та громадські будівлі, які були збудовані в 60–80 рр. минулого століття. Наразі такі об'єкти складають близько 80 % цивільних будівель та споруд країни. В будівельній галузі того періоду взагалі не передбачалося застосування енергозберігаючих технологій, а перевага віддавалась типовості проєкту та швидкості зведення будівлі. В сучасності наше суспільство зіткнулося з проблемою технічної та моральної застаріlosti тих будівель та потреби в їх модернізації, що призводить до надмірного розходу енергії (табл. 1).

Таблиця 1

Розхід теплової енергії за видами будівель в Україні

Індивідуальний житловий будинок 140 м ² загальної площі	Річна витрата тепла, кВт-год/м ³ рік	Питома витрата тепла, Вт-год/м ²
Будинки старої забудови (до середини 90-х рр.)	600	125
Будинки згідно ДБН В 2.2-15-2005	150	70
Будинки низького енергоспоживання	70	14...32
Будинки ультранизького енергоспоживання	30...15	14...7
Сучасний пасивний будинок	менше 15	менше 7

В Україні наразі налічується 600 тис. таких будівель, які не відповідають ні архітектурно-планувальним, ні санітарно-гігієнічним, ні експлуатаційним вимогам. За даними Інституту стратегічних досліджень, близько 70 % житлового фонду побудовано до 1970 року, зношеність основних фондів перевищує 60 %, а енергоємність послуг у 2,5...3 рази перевершує показники європейських країн. Якщо на початок 90-х років у середньому по Україні на 100 кілометрів комунальних мереж припадало 30...40 аварій, то в останні роки цей показник досяг 180 аварій на 100 кілометрів водопроводу і 10...20 на 100 кілометрів мереж тепlopостачання (Постанова Кабінету Міністрів України, 2006). Застарілий житловий фонд вимагає дедалі більше коштів на своє утримання.

Розглянемо основні проблеми слабого розвитку енергоефективної політики держави.

Причини технологічного характеру:

Використання переважно технічних та технологічних рішень на комунальних об'єктах, які не передбачають контролю та регулювання споживання енергії при наданні енергоефективних послуг. Недостатня кількість пристроїв обліку споживання енергії в кінцевих споживачів до останнього часу.

Зношеність будівель, обладнання та механізмів, що входять до складу комунальних об'єктів.

Недостатня обізнаність інженерів-проектувальників щодо сучасних енергозберігаючих обладнань та матеріалів, які можуть бути використані для технологічних змін в комунальних об'єктах та системах.

Причини політичного характеру:

Низький пріоритет проблем підвищення ефективності використання енергозберігаючих технологій в будівництві.

Неефективне використання державних та муніципальних коштів, соціальне утриманство деяких прошарків населення та окремих осіб.

Відсутність або недостатня політична воля у впровадженні системи впровадження енергозберігаючих технологій, як в будівництві так і в реконструкції вже існуючих об'єктів.

Недостатньо пропрацьовано нормативно-правову базу, яка регулює процеси проєктування та будівництва цивільних об'єктів, із використанням енергозберігаючих технологій.

Підміна поняття «ефективне використання енергії» поняттям «збереження, тобто економія енергії» – внаслідок цього замість застосування сучасних підходів будівництва, весь процес за-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

стосування енергозберігаючих технологій зводиться до примітивної економії енергії.

Нерозуміння локальних і глобальних економічних та фінансових перспектив реалізації енергоефективних проєктів у сфері будівництва з боку місцевого керівництва.

Залежність муніципалітетів у формуванні та використанні власного бюджету, розпорядженні комунальним майном від рішень державної влади.

Відсутність муніципальної політики щодо вибору пріоритетів діяльності в сфері будівництва.

Причини правового характеру:

В Україні, через недоліки системи житлового та цивільного законодавства, приватизація житла не дозволяє створити приватних власників багатоквартирних будинків, в яких проживає близько 90 % мешканців великих міст.

Чинне законодавство обмежує можливості міст щодо розпорядження комунальним майном, включаючи права на відчуження, перепрофілювання та здавання в оренду установ освіти та охорони здоров'я.

Заборона відключення соціальних об'єктів від енергопостачання.

Та найактуальнішою проблемою наразі є масштабні руйнування енергетичної інфраструктури, внаслідок завдання країною-агресором повітряних атак. 10 жовтня 2022 року росія розпочала атаки на об'єкти критичної інфраструктури України. У всіх областях почали вимикати світло. Тільки за одну добу було пошкоджено 30 % енергетичної інфраструктури України.

Згідно із офіційною заявою Президента України від 19 листопада 2022, було пошкоджено близько 50 % загальної інфраструктури та генеруючих потужностей енергетичної системи країни. Країна-агресор ставить собі за ціль руйнування ТЕС, ТЕЦ і підстанцій – це об'єкти, ураження яких призводить до часткового розбалансування всієї енергосистеми країни. Станом на 22 вересня внаслідок збройної агресії росії на території України загалом уражено 349 об'єктів критичної інфраструктури у сфері теплопостачання, а саме: 335 котельні (332 пошкоджено та 13 зруйновано), 11 ТЕЦ (7 пошкоджено і 4 зруйновано) та 3 ТЕС. У плановому режимі державою здійснюється фінансування робіт з відновлення Охтирської, Чернігівської ТЕЦ та системи централізованого теплопостачання у Кременчуці (Чернишов О. Зима спитає з кожного!).

чання у Кременчуці (Чернишов О. Зима спитає з кожного!).

Це може привести до значних проблем і в будівельному комплексі, адже найпоширенішим засобом обігріву осель в Україні залишається централізоване опалення, яке покриває близько 60 % опалення житлового фонду. До цього можна віднести різні види магістралей та джерел теплової енергії, що розносяться по будинках. Треба зазначити, що центральний тип опалення помітно менше залежний від електроенергії, ніж індивідуальний, бо для його роботи в будинках не повинно бути додаткове електричне обладнання. То ж руйнування безпосередньо енергетичної інфраструктури направленої на вироблення електроенергії не є дуже критичним для населення з точки зору забезпечення опалення. Проте на сьогоднішній невизначений стан не можна виключати ризики, що ворог почне масову атаку саме по тепловій інфраструктурі, як вже було з енергетичною. Хоч завдати враження тепловій мережі значно складніше, специфічне розміщення генеруючих тепло джерел робить їх потенційними цілями. Так, наприклад Кременчуцька ТЕЦ в Полтавській області, що забезпечувала не менше 70 % потреб міста, зазнала значних руйнувань. Останнім засобом захисту населення від зовнішньої середовища, яке втратило тепло й гарячу воду в опалювальний сезон, є огорожувальні конструкції, які не відповідають сучасним вимогам з енергоефективності та теплозбереження.

Результати

У європейських країнах забезпечення енергоефективності будівель є однією з основних стратегій зниження викидів вуглекислого газу та зменшення залежності від зовнішніх поставачань енергії. Багато країн вже успішно впроваджують нові технології, матеріали та конструкції, які допомагають підвищити енергоефективність будівель.

Один з прикладів – «пасивний будинок». Це концепція будівництва, яка базується на ідеї створення будівлі, що не вимагає активного опалення та охолодження. Будівлі, що відповідають стандарту «пасивний будинок», мають спеціальну ізоляцію, що дозволяє зберігати тепло, а також використовують системи рекуперації тепла, що відновлює тепло, яке випуска-

ється під час провітрювання будівлі. Перевагою таких будівель є економія енергії та грошей на опаленні та охолодженні, а також покращення якості повітря всередині будівлі. Однак, недоліком може бути висока вартість будівництва та складність виконання. У 80-х роках минулого століття розпочали будувати перші пасивні будинки, які в 90-х роках перейшли в ідею активного будинку (рис. 1).

Данія та Німеччина проявили особливий інтерес до проекту активних будинків, оскільки

виділяли серйозні кошти на екологічні дослідження. Саме в Данії був побудований перший будинок, що виробляє енергію. З тих пір розробки ведуться як в галузі технологій будівництва екобудинків, так і в галузі проектування енергоефективних міст, що забезпечують себе енергією без потреби окремих енергостанцій. Такі міста називають «стабільними», оскільки вони не тільки економлять енергію, але й не мають негативного впливу на навколишнє середовище (Іванова, 2018).

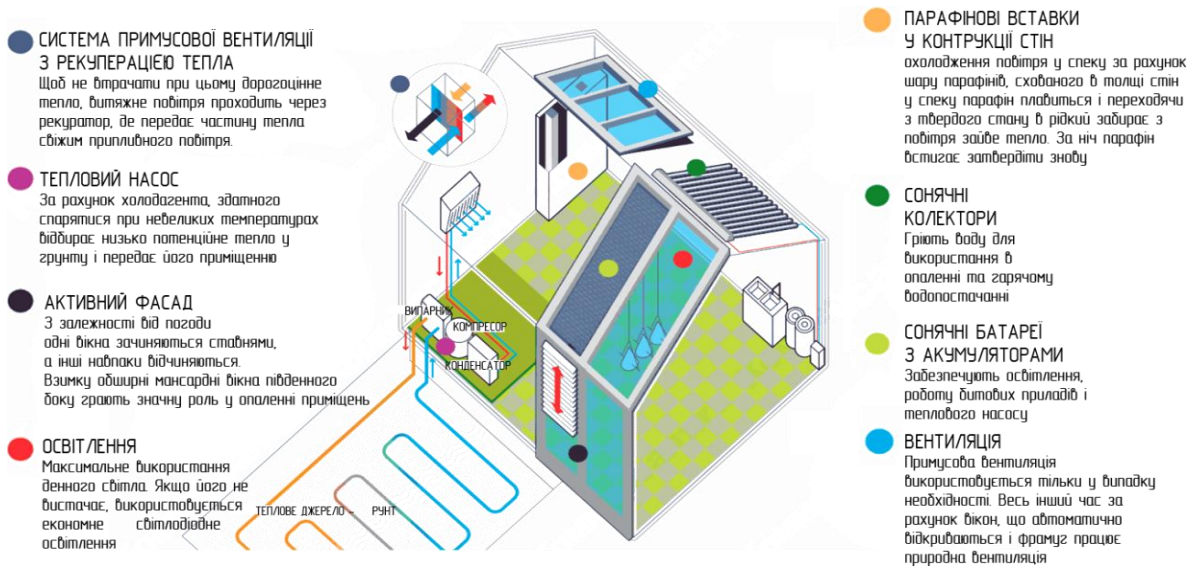


Рис. 1. Інженерне рішення активного будинку

Також, одним з успішних прикладів використання інноваційних матеріалів у будівництві є компанія EсоPan, яка спеціалізується на виробництві екологічно чистих панелей для стін та перегородок. Ці панелі виготовляються з вторинної сировини, що дозволяє зменшити відходи та скоротити кількість енергії, витраченої на виробництво. EсоPan використовує для виробництва своїх панелей технологію вакуумної формування, що дає можливість отримувати панелі з різною поверхнею та структурою. Вони мають високу теплоізоляцію та звукоізоляцію, що дозволяє знизити витрати на опалення та кондиціонування повітря. Крім того, панелі EсоPan мають високу міцність та стійкість до вологи, що забезпечує довговічність конструкцій, збудованих з цих панелей. Однією з переваг використання панелей EсоPan є їх екологічність. Виготовлення цих панелей з вторинної сировини дає можливість зменшити кількість відходів та сприяє відновленню ресурсів. Крім

того, панелі EсоPan не містять шкідливих речовин, таких як формальдегід, що забезпечує здорове мікроклімат в приміщеннях. Компанія використовує технологію панельно-каркасної конструкції під назвою SIP-технологією (Structural Insulated Panel – структурна ізолювана панель), для зведення будинку шляхом збирання готових елементів, які складаються разом як конструктор. Для будівництва використовуються панелі завтовшки 20 см. При температурі зовні – 12 °С для опалення будинку площею 200 м² потрібно всього 10 м³ газу на добу, що майже у 9 разів менше, ніж для опалення кам'яного будинку такої ж площі. Вартість такого будинку – приблизно 500 \$/м² з урахуванням внутрішньої обробки (Будинки з сип-панелей, EсоPAN).

Будинки такого типу дуже розповсюджені в Канаді, Норвегії, на Алясці й інших країнах з суровим кліматом. Навіть без опалення і в сильний мороз будинок не промерзає (рис. 2).

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА



Рис. 2. Канадський будинок від «Екопану»

Українські будівельні компанії також можуть використовувати панелі EcoPan для створення енергоефективних та екологічно чистих будівель. Вони мають більш низьку вартість порівняно з іншими інноваційними матеріалами, що забезпечує їх доступність для більш широкого кола будівельних компаній.

Прикладом успішного покращення енергоефективності шляхом використання інноваційних матеріалів при будівництві – це використання вікон зі склопакетами з технологією «теплого краю» (warm edge) (Іванова, 2018).

Технологія «теплого краю» (рис. 3) передбачає використання матеріалів з низькою теплопровідністю для того, щоб зменшити теплові втрати через раму вікна.



Рис. 3. Технологія «Теплий край»

За допомогою цієї технології вдається знизити теплові втрати через раму вікна на 70 %, що дозволяє знизити витрати на опалення та охолодження приміщень. Крім того, використання склопакетів з технологією «теплого краю» покращує звукоізоляцію вікон, що позитивно впливає на комфорт проживання.

Однак, використання технології «теплого краю» має певні недоліки. Вона є дещо дорожчою у виробництві, що може збільшити вартість вікон. Крім того, висока якість матеріалів потребує пильного дотримання технологічних процесів у виробництві, що може збільшити ризик виникнення дефектів в виробництві. Не-

зважаючи на ці недоліки, використання технології «теплого краю» є важливим кроком у покращенні енергоефективності будівель. Зараз багато виробників вікон пропонують склопакети зі склом з технологією «теплого краю», що дозволяє знизити їх вартість та робить їх більш доступними для звичайних споживачів. Україна також може використовувати цю технологію для покращення енергоефективності будівель. Зараз в Україні вже є виробники вікон зі склом з технологією «теплого краю», які пропонують свою продукцію на ринку. Однак, щоб зробити використання таких вікон більш широко поширеним, можна вжити заходів для зменшення вартості виробництва, наприклад, шляхом зменшення витрат на матеріали чи введення державних пільг для виробників.

Прикладом вдалого проекту з точки зору енергоефективності можна назвати інноваційний офісний комплекс з енергоефективним дизайном, зведений в місті Амстердам, Нідерланди. Його назва – The Edge (рис. 4).



Рис. 4. Офісний комплекс «The Edge»

Одна з головних особливостей будівлі полягає у використанні технологій «розумної» інтеграції, які дозволяють регулювати температуру, освітлення, вентиляцію та інші параметри у приміщеннях, залежно від рівня зайнятості та погодних умов. Для забезпечення енергоефективності було застосовано інноваційні матеріали, такі як склопакети з теплоізоляційним покриттям, а також керамічна фасадна обшивка з інтегрованими сонячними панелями. Останні забезпечують генерацію додаткової електроенергії для будівлі та складаються з панелей різної прозорості, що дозволяє максимально ефективно використовувати сонячне світло та зменшувати витрати на освітлення. Також будівля оснащена системою збору та використання дощової води, а вентиляційні системи працюють на основі теплового насоса, що дозволяє вико-

ристовувати тепло, що вже є в приміщенні, для обігріву повітря. Результати показали вражаючий енергоефективний потенціал будівлі, який обумовлений інноваційними матеріалами та технологіями. Основними матеріалами, які забезпечують його високу енергоефективність, є (ДП «Укрренерго», 2017):

1. Високоєфективне скло. Вікна в The Edge мають тришарову конструкцію зі скла з низькою теплопровідністю, що зменшує витрати на опалення і кондиціонування повітря.

2. Термомодифіковане дерево. Елементи будівлі виготовлені з термомодифікованого дерева, яке має знижене водопоглинання, довговічність та додаткову теплоізоляцію.

3. Вентильована фасадна система. Фасад будівлі має вентильовану систему, що забезпечує додаткову теплоізоляцію та знижує вплив погодних умов на температуру в середині будівлі.

4. Система автоматичного регулювання освітлення та кондиціонування. Усі системи освітлення та кондиціонування повітря в The Edge пов'язані зі системою керування, що дозволяє знижувати витрати енергії за рахунок їх оптимального використання.

Деякі інноваційні матеріали, які використовуються в The Edge, можуть бути більш складними для придбання в Україні або бути вищої цінової категорії. Але, наприклад, дерево, що пройшло термомодифікацію, можна придбати в українських компаніях, таких як «TermoWood». Крім того, в Україні виробляють інші енергоефективні матеріали, такі як утеплювачі на основі мінеральної вати або пінопласту, а також вікна зі склопакетами та теплим краєм.

ZEB Pilot House (рис. 5) є інноваційним будинком з нульовими викидами в центрі Осло, Норвегія. Цей будинок був спроектований з метою вивчення і дослідження нульової енергії та практичного застосування.



Рис. 5. ZEB Pilot House в Швеції

Основними матеріалами, які використовуються в цьому будинку є дерево, метал та скло. Скло використовується для максимального використання природного світла, зменшення витрат на освітлення та підвищення енергоефективності будівлі. Були використані технології, які дозволяють зменшити енерговитрати на вентиляцію, відновлення тепла, збереження енергії та використання сонячних батарей для забезпечення електроенергією будівлі. У проєкті використовуються такі інноваційні технології та матеріали:

1. Термічно модифіковане дерево, яке використовується як покрівельний матеріал, а також для створення декоративних елементів і фасадних панелей. Цей матеріал відрізняється високою стійкістю до руйнування і корозії.

2. Високоєфективні вікна зі склопакетами з теплим краєм, які забезпечують максимальну термоізоляцію та запобігають утворенню конденсату.

3. Геотермальна система опалення, яка використовує земну теплообмінну станцію та підземні колектори для нагріву приміщення.

4. Фотовольтаїчні панелі на даху та фасаді, які забезпечують будівлю електроенергією та допомагають знизити її енергоспоживання.

5. Унікальна вентильована фасадна система з металевої обробки на основі цинку та алюмінію, яка забезпечує максимальну термоізоляцію та захист від атмосферних опадів.

Фасадна система ZEB Pilot House є однією з ключових технологічних інновацій цієї енергоефективної будівлі. Вона складається з кількох шарів, кожен з яких виконує певну функцію. Перший шар – це металева рамка, на яку кріпиться вся конструкція. Другий шар – це ізоляційний матеріал, який забезпечує теплоізоляцію. У випадку з ZEB Pilot House, для цього використовуються мінеральна вата та поліуретанова піна. Третій шар – це гідробар'єр, який захищає будівлю від вологи та атмосферних опадів. Четвертий шар – це вентильований фасад, що забезпечує постійну циркуляцію повітря між зовнішнім та внутрішнім шарами. Це допомагає зменшити вологість у приміщенні та запобігти утворенню плісняви. Окрім того, фасадна система ZEB Pilot House містить додатковий шар – сонячні панелі, що генерують електроенергію. Також у фасад вбудовані розумні датчики, які регулюють затінення вікон та зме-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ншують надлишкове нагрівання в приміщенні в літні місяці. Загалом, фасадна система ZEB Pilot House дозволяє знизити витрати на опалення та кондиціонування повітря в приміщенні, що забезпечує енергоефективність будівлі. Водночас, ця система також дозволяє виробляти додаткову електроенергію, що є важливим екологічним плюсом.

Згідно з даними на офіційному сайті проекту, ZEB Pilot House є першою будівлею в Швеції, яка досягла стандарту «нульової енергії» і забезпечує 100 % своїх енергетичних потреб за рахунок власного виробництва енергії. За даними вимірювань, будинок виробляє більше енергії, ніж його жителі використовують (ZEB Pilot House).

Житловий комплекс «BedZED» (рис. 6) знаходиться у місті Лондон, Велика Британія. Він був побудований в 2002 році, має 82 житлові одиниці та спеціальні приміщення для офісів та магазинів.



Рис. 6. Житловий комплекс «BedZED»

Головною метою проекту було створення «нейтрального вуглецю» житлового комплексу, тобто такого, що видає стільки ж вуглекислого газу, скільки його здатний поглинути і зберегти. Для досягнення цієї мети використовувалися різні технології, такі як енергоефективні будівельні матеріали, енергозберігаючі системи опалення та охолодження, сонячні батареї, вітрогенератори та інші (BedZED: The story of a pioneering eco-village). Одним з унікальних матеріалів, що використовувалися в проекті, є здатний до переробки металічний композитний матеріал для огороження. Цей матеріал має високі теплоізоляційні властивості, легкий у вагу та довговічний. Крім того, для будівництва використовувалися такі матеріали, як дерево, вторинна перероблена сталь, цегла з вторинної

переробки та інші відновлювані ресурси. Огороджуюча конструкція «BedZED» також є дуже цікавою. Вона складається з шару з рослин, який використовується як натуральний екран, що захищає від шуму та забруднення. Крім того, рослини допомагають покращити якість повітря та забезпечують природну теплоізоляцію. За підрахунками, «BedZED» знизив викиди вуглекислого газу на 70 % порівняно зі стандартним житлом, що споживає енергію. Технології, що використовуються в BedZED, мають великий потенціал для використання в інших будівлях, особливо в міських житлових комплексах. Деякі компанії і архітектори по всьому світу вже застосовують подібні підходи до будівництва, проте на масштабі, подібному до BedZED, їх поки не так багато.

Наукова новизна та практична значимість

Цінність дослідження полягає в системному аналізі поточних проблем впровадження енергоефективної політики в Україні, що передбачає розгляд різноманітних аспектів, таких як юридичний, економічний, технічний, соціальний тощо. Також, звернено увагу на зростання енергетичної залежності населення внаслідок руйнувань інфраструктури країною-агресором. Зазначена робота може допомогти у формуванні ефективної енергетичної політики в Україні, що забезпечить зменшення споживання енергоресурсів та витрат на них в будівництві. Розглянуті кейси впровадження енергоефективних систем в цивільному будівництві країн Євро-союзу можуть стати важливим джерелом інформації для українських фахівців та підприємств в будівництві, які прагнуть зменшити витрати на енергетичні ресурси та забезпечити більш ефективне використання енергії. Зібраний обсяг досвіду іноземних технологій допоможе виявити найбільш ефективні методи, інструменти та матеріали, які можуть використовувати в українські виробники

Висновки

У результаті проведеного аналізу можна зробити висновок, що сучасний стан будівельного фонду у розрізі енергоефективності є незадовільним. Вітчизняні технології та загалом підхід до споживання енергоресурсів потребують оновлення. До причин наближення Украї-

ни енергетичної кризи можна віднести значну частку радянської забудови, невідповідальність та жага економії сучасних підрядників, обмежені можливості розгортання місцевих виробництв, їх низька інвестиційна привабливість, неузгодженість нормативних вимог, руйнування інфраструктури тощо. Раціональним напрямком розвитку енергетичної незалежності є шлях переймання європейського досвіду та інтегрувати відповідно до умов нашої країни.

Аналіз успішного втілення енергоефективних заходів у цивільному будівництві є найефективнішою формою пошуку інноваційних шляхів підвищення енергетичної ефективності будівельного фонду. Перш за все це економічно вигідно, через зменшення витрат на опалення будівель, що в свою чергу зменшить негативний вплив на навколишнє середовище. Такий підхід вимагає системного аналізу технологій, що дає змогу визначити доцільність їх використання у різних умовах, їх ефективність та можливість втілення в українській будівельній галузі.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- BedZED: The story of a pioneering eco-village, Bioregional. URL: <https://www.bioregional.com/resources/bedzed-the-story-of-a-pioneering-eco-village>
- ZEB Pilot House. Snøhetta. URL: <https://snohetta.com/project/188-zeb-pilot-house>
- Боровик, Ю. Т., Єлагін, Ю. В., & Полякова, О. М. (2021). Стійке будівництво: сутність, принципи, тенденції розвитку. *Вісник економіки транспорту і промисловості*, 72-73, 47-56.

Будинки з сіп-панелей, ECOPAN. URL: <https://ecopanua.com/ru/doma-iz-sip-panelej-sip-paneli-sip-paneli/>

ДП «Укренерго» (2017). *Досвід країн Євросоюзу з підвищення енергоефективності, енергоаудиту та енергоменеджменту з енергоощадності в економіці країн*. Київ: Відділ інформаційно-аналітичної роботи департаменту міжнародного співробітництва та євроінтеграції.

Іванова, Л. С. (2018). Енергоефективні інновації у будівництві. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*, 52, 302-306.

Кицкай, Л. І. (2013). Енергоефективність в Україні: аналіз, проблеми та шляхи підвищення. *Інноваційна економіка*, 3(41), 32-37.

Кінаш, І. А. (2015). Бар'єри на шляху впровадження енергоефективності та енергозбереження підприємств. *Сталий розвиток економіки*, 3, 185-189.

Степаненко, І. І. (2010). Проблеми та перспективи розвитку енергоефективності в житловому секторі міст України. *Електронне наукове фахове видання «Ефективна економіка»*, 11(5).

Постанова Кабінету Міністрів України (2006). *Енергетична стратегія України на період до 2030*. URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>

Уряд України (2021). *Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року*. Держенергоефективність України. URL: <https://saee.gov.ua/uk/content/npdee-2030>

Чернишов, О. *Зима спитає з кожного!* Міністерство розвитку громад та територій України. URL: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/oleksij-chernyshov-zyma-spytaue-z-kozhnogo/>

I. A. ARUTIUNIAN^{1*}, O. D. ZHAMILOV², H. E. VEREMİY³

^{1*} Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 226 Sobornyi ave., Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (066) 582 34 26, e-mail iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-5049-3742

² Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 226 Sobornyi ave., Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (068) 323 93 68, e-mail olegzhamilov@gmail.com, ORCID 0009-0008-3212-0054

³ Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 226 Sobornyi ave., Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. 38 (050) 504 78 55, e-mail veremiy_glib@i.ua, ORCID 0009-0001-6487-1118

ENERGY EFFICIENCY POLICY IN CIVIL ENGINEERING: OPPORTUNITIES AND PROSPECTS FOR APPLICATION

Objective. To analyze the problems of implementation of modern energy efficient systems in Ukraine. The advantages of modern technologies over outdated ones are presented. The results of the study should form the basis for

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

the development of recommendations for improving energy efficiency in civil engineering. **Problems.** Today in Ukraine, solving the problem of energy saving in civil engineering remains a constant priority. Overcoming this obstacle largely determines Ukraine's recovery from the economic crisis. According to estimates, energy consumption for heating budgetary institutions in Ukraine is 2 ... 3 times higher than in the EU countries for the same needs. This is based on the obsolescence of Ukraine's building stock from the time of intensive construction in the 1960s and 1980s. **Analysis.** Many countries are already successfully implementing new technologies, materials, and designs that help improve the energy efficiency of buildings. Examples include: a construction concept based on the idea of creating a building that does not require active heating and cooling – a «passive house», the use of SIP panels made from recycled materials, the use of double-glazed windows with «warm edge» technology, the creation of energy-efficient envelope structures such as the construction projects «The Edge», «ZEB Pilot House», «BedZed». **Scientific novelty.** Analysis of current problems of energy efficiency policy implementation in Ukraine in terms of various aspects, such as legal, economic, technical, social, etc. Cases of successful implementation of energy efficient measures and technologies in civil engineering in European countries are considered. **Practical significance.** The analysis of the real energy status of the country's building stock is the basis for the development and support of energy efficiency policy. The considered cases of energy efficient technologies implementation can become an important source of information for Ukrainian construction specialists, which will significantly improve the energy efficiency of new buildings, reduce energy dependence on critical infrastructure, save money for civilians and improve the comfort of living conditions.

Keywords: energy efficiency; energy saving; innovation; civil engineering; technology

REFERENCES

- BedZED: The story of a pioneering eco-village, Bioregional. URL: <https://www.bioregional.com/resources/bedzed-the-story-of-a-pioneering-eco-village> (in English)
- ZEB Pilot House. Snøhetta. URL: <https://snohetta.com/project/188-zeb-pilot-house> (in English)
- Borovyk, Yu. T., Yelahn, Yu. V., & Poliakova, O. M. (2021). Stiike budivnytstvo: sutnist, pryntsyipy, tendentsii rozvytku. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti*, 72-73, 47-56. (in Ukrainian)
- Budyanky z sip-panelei, ECOPAN. URL: <https://ecopanua.com/ru/doma-iz-sip-panelej-sip-panelei-sip-panelei/> (in Ukrainian)
- DP «Ukrenerho» (2017). *Dosvid krain Yevrosoiuzu z pidvyshchennia enerhoefektyvnosti, enerhoaudytu ta enerhomenedzhmentu z enerhooshchadnosti v ekonomitsi krain*. Kyiv: Viddil informatsiino-analitychnoi roboty departamentu mizhnarodnoho spivrobotnytstva ta yevrointehratsii. (in Ukrainian)
- Ivanova, L. S. (2018). Enerhoefektyvni innovatsii u budivnytstvi. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia*, 52, 302-306. (in Ukrainian)
- Kytskai, L. I. (2013). Enerhoefektyvnist v Ukraini: analiz, problemy ta shliakhy pidvyshchennia. *Innovatsiina ekonomika*, 3(41), 32-37. (in Ukrainian)
- Kinash, I. A. (2015). Bariery na shliakhu vprovadzhennia enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia pidpriemstv. *Stalyi rozvytok ekonomiky*, 3, 185-189. (in Ukrainian)
- Stepanenko, I. I. (2010). Problemy ta perspektyvy rozvytku enerhoefektyvnosti v zhytlovomu sektori mist Ukrainy. *Elektronne naukove fakhove vydannia «Efektyvna ekonomika»*, 11(5). (in Ukrainian)
- Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy (2006). *Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2030*. URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358> (in Ukrainian)
- Uriad Ukrainy (2021). *Natsionalnyi plan dii z enerhoefektyvnosti na period do 2030 roku*. Derzhenerhoefektyvnist Ukrainy. URL: <https://saee.gov.ua/uk/content/npdee-2030> (in Ukrainian)
- Chernyshov, O. *Zyma spytaie z kozhnogo!* Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy. URL: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/oleksij-chernyshov-zyma-spytaye-z-kozhnogo/> (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 19.03.2023.

Прийнята до друку 16.05.2023.