

<i>Зм.</i>	<i>Кільк</i>	<i>Арк.</i>	<i>№</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	<i>АВР</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Розробив</i>							
<i>Консульт.</i>							

Вступ

За останні 20 років ми стали свідками великого прогресу. Сучасні технології вражають. Людина намагається зробити своє життя більш привабливим, різноманітним, простим та розумним. Як не дивно, але стан нашої планети в цілому впливає на розвиток технологій: нові проблеми, катаклізми, а з ними й нові потреби людини прямо залежні один від одного. Потреба людини в ресурсах нескінченно збільшується, але запаси природних невідновлюваних копалин зменшуються. Тому тенденція використання природних копалин для споживання людиною почала виходити на останні позиції, на перші позиції виходять енергозбереження та екосистеми. За даними International Energy Agency (IEA) у світовому вимірі постачання первинної енергії за період з 1973 по 2015 роках збільшилися у 2,2 рази, а споживання - у 2,0 рази. При цьому на частку нафти довелося 31,7%, вугілля - 28,1% і газу - 21,6% [2].

Зі швидким розвитком альтернативних видів виробітку енергії, таких як: сонячна та вітрова електроенергія, та переважно легким їх впровадженням у наше життя з різних боків, ми отримали нові способи використання цих видів енергії в будівництві та архітектурі. Особливо важливі для України програми енергозбереження, яка імпортує енергоносії. Причому в нашій країні понад 30% кінцевої енергії споживають будівлі. Водночас, через відсутність належної енергоефективності втрати тепла в них складають 47%. При цьому, наприклад, в панельних п'ятиповерхових будинках структура втрат тепла формується таким чином, у %: інфільтрація - 35, стіни - 30, вікна - 23, підлогу 1-го поверху - 7, перекриття горища - 5 [3]. Тому, питання збереження тепла та зменшення використання енергії стало гостро актуальним. Одночасно, розробки нових ефективних огорожувальних конструкцій стали первинною потребою задля збереження тепла.

Зростання кількості населення збільшилося за останні 20 років на 28,5%. Щільність населення в містах стала значно збільшуватися, а з нею і потреба в новій житлоплощі. Міста почали рости вгору, а не вшир. Хмарочоси є резуль-

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	АВР	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

татом даної проблеми. Постала потреба в легких та ефективних огорожувальних конструкціях. Тому використання скла в будівництві, як провідного матеріалу в нових технологіях оздоблювання будівель, стало провідним. А додавши питання обслуговування цих будівель, їх опалення та потреби в електроенергії, було вирішено почати розробку нових технологій використання скляних огорожувальних конструкцій та пошук розв'язання питань зі зменшенням використання опалення, потреби в кондиціонуванні та навіть використання електроенергії.

Скління будівель стало ще одним влучним рішенням, бо скло є недорогим та естетично привабливим, завдяки якому, можливо використовувати його у різному виді, та надавати йому певних властивостей для конкретного виду використання. Скло стало матеріалом завдяки якому ми маємо змогу економити електроенергію за природне освітлення. Крім того, широке коло видів скла та їх характеристик, сприяли розвитку його різноманітного використання.

Вікна - це особлива частина будівлі, це її очі. Достатня проникність світла в будівлю необхідна для нормального існування людини. З часом вчені змогли поррахувати скільки потрібно світла та часу мінімально заповнювати простір в приміщенні, та розробили будівельні та санітарні норми, й інші галузеві норми.

Природне освітлення житлових приміщень прямими сонячними променями, за ДБН В.2.5-28:2018 «Природне та штучне освітлення», повинно бути не менше трьох годин на добу, а для громадських будівель інсоляція приміщень небажана через виникнення сонячних відблисків на моніторах і робочих поверхнях. Також зі зростанням щільності забудови міст, розпочався пошук нових ідей та технологій задля розв'язання цих питань.

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	АВР	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Еволюція розвитку енергозберігаючих віконних систем

Дослідники вважають, що перший етап в розробці енергоефективних віконних конструкцій настав ще в 1865 році, коли Томас Стетсон (Thomas D. Stetson) отримав патент США на віконний блок зі двома скляними панелями [2]. Звісно, цей патент потребував значного перевороту у сфері віконного виробництва: додаткових технологій виготовлення та монтажу. Тому реалізація і подальший розвиток буди не швидкими.

Другим етапом у створенні енергозберігаючих віконних конструкцій стала розробка в 50-х роках ХХ століття низькоемісійних плівок на базі металополімерних композитних покриттів скла. Це дало змогу надати значну кількість додаткових і різноманітних властивостей склу, що й сприяло всебічному розвитку технологій виготовлення віконних систем та розширення сфер використання, насамперед, завдяки збільшенню експлуатаційних властивостей віконних конструкцій. Механізм дії низькоемісійних плівок (Low-E), використовуючи в віконних системах, складається в блокуванні значної кількості теплопередачі від сонячного випромінювання, тим самим зменшуючи вхідний тепловий потік в приміщення будівлі. Плівки виготовляють з композита, що являє собою метали, напівпровідники та діелектрики.

Третій етап розпочався при використанні низькоемісійних самоклеючих плівок, що наносився на звичайне скло вікна. Прикладом такого товару є плівки торгової марки EnerLogic від американської компанії Solutia Inc. У 2010 році на ринок була введена «Низькоемісійна віконна плівка EnerLogic 35», яка трансформує одношарове вікно у двошарове, а однокамерний склоблок - в тришаровий. За даними розробника плівка «EnerLogic 35» має коефіцієнт теплопровідності (U) 0,589 взимку і 0,424 влітку при коефіцієнті теплового опору (R) 1,974. Подальший розвиток і технічні ідеї компанії були реалізовані у 2012 році у продукті EnerLogic 70, який забезпечує передачу до 70% видимого світла і є енергоефективним [6,7].

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	ABP	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Наступним етапом, розпочинаючи з 2009 року, ринок смарт-вікон значно розширюється шляхом росту популярності та попиту на вікна з регульованою прозорістю. Ці інноваційні властивості скла дозволять електроенергетиці вийти на новий рівень розвитку та значно знизити потребу будівель та загалі людства в сировинних ресурсах, завдяки змозі регулювати прозорість скла, обирати як і коли використовувати його властивості задля збереження тепла, зменшення потреб у кондиціонуванні будівель, та додатковому освітленні приміщень.

Таблиця 1. Основні види смарт технологій віконних систем [узагальнено автором на основі 14-17]

<i>Види Smart - вікон</i>	<i>Конструктивні рішення</i>	<i>Виконуючі функції</i>	<i>Країни-виробники комерційної продукції</i>
Фотохромне (photochromic) вікно	Використання добавок, поглинаючих сонячну енергію	Реагує на зміну світлового потоку	-
Термохромне (thermochromic) вікно	Скло з термохромним покриттям	Регулює світловий потік в залежності від навколишньої температури	-
Електрохромне (electrochromic) вікно	В основному використовується оксид вольфраму між двома склами	Змінює прозорість під впливом керуючого електричного сигналу	Німеччина, Нідерланди, США, Швеція,
Рідкокристалічні (Liquid crystal-based) вікна	Зміна орієнтації рідкокристалічних молекул між двома провідними електродами	Змінює прозорість під впливом керуючого електричного сигналу	Іспанія, США, Франція, Японія
Вікна на основі зважених частинок (suspended-	Складаються з 3-5 шарів, активний шар адсорбує	Поглинання світла в вимкненому стані, і пропускання	Німеччина, Ірландія, Іспанія,

<i>Зм.</i>	<i>Кільк</i>	<i>Арк.</i>	<i>№</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	<i>ABP</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Розробив</i>							
<i>Консульт.</i>							

particle devices)	дипольні голкоподібні або сферичні частинки	світла при додаванні електричного поля	США
Вікно з використанням «Теплового дзеркала» (Heat Mirror)	Тонка прозора тканина, змонтована усередині склопакета	Взимку відбивають випромінювання опалювального приладу всередину приміщення, а влітку - сонячне випромінювання назовні вікна.	США



Рис.1. Фотохромне вікно



Рис.2. Термохромне вікно

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

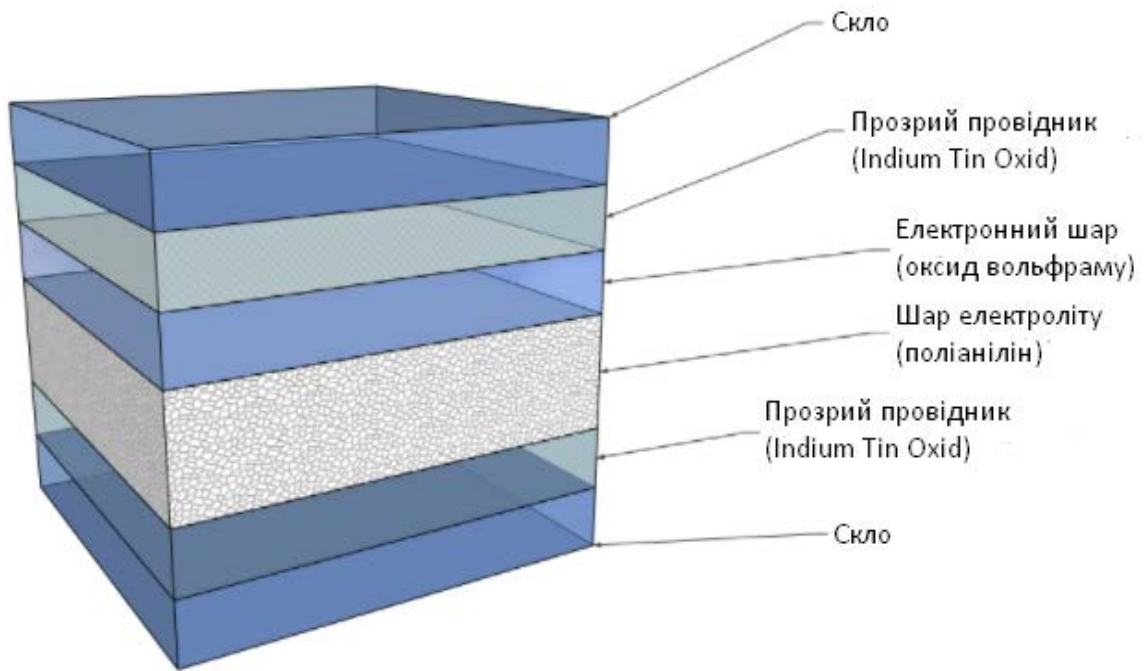


Рис. 3. Склад електрохромного скла

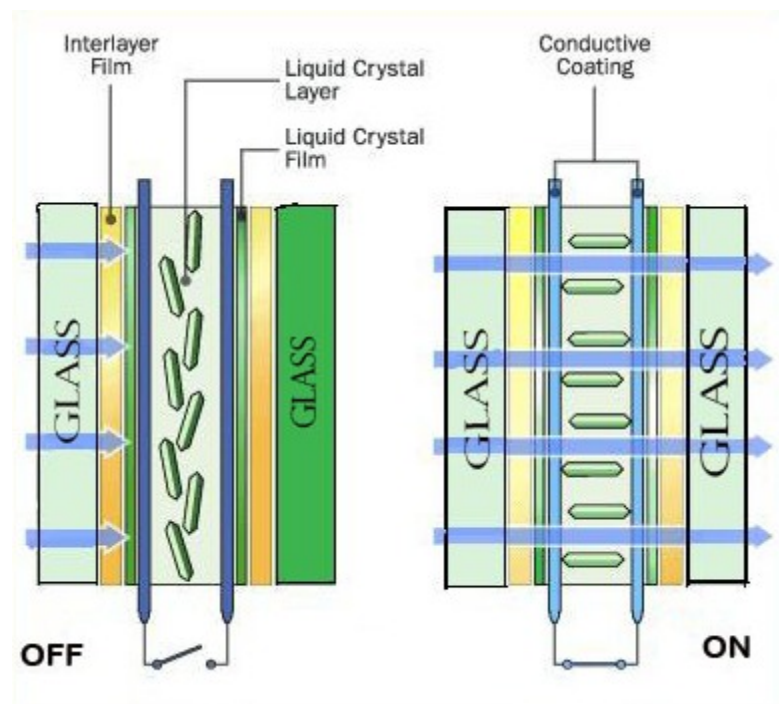


Рис. 4. Рідкокристалічні вікна [32]

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

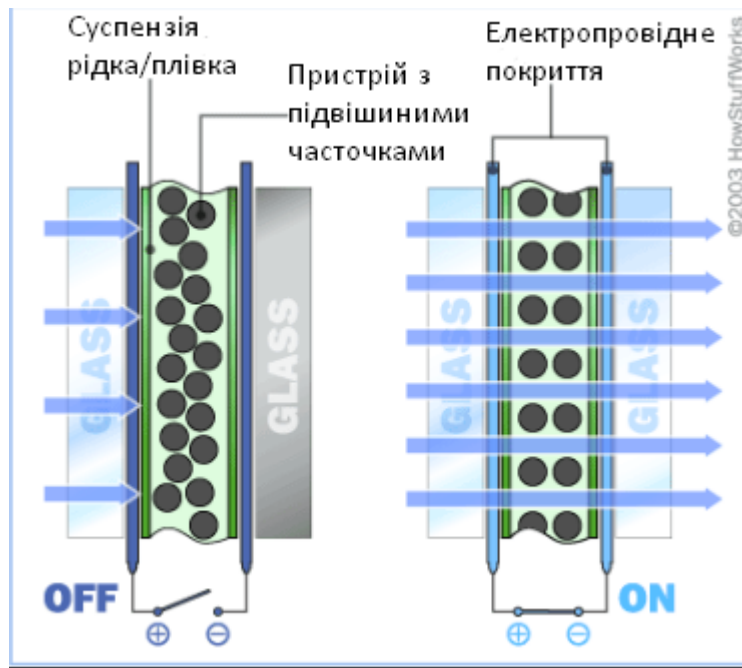


Рис. 5. Робота скла на зважених часточках

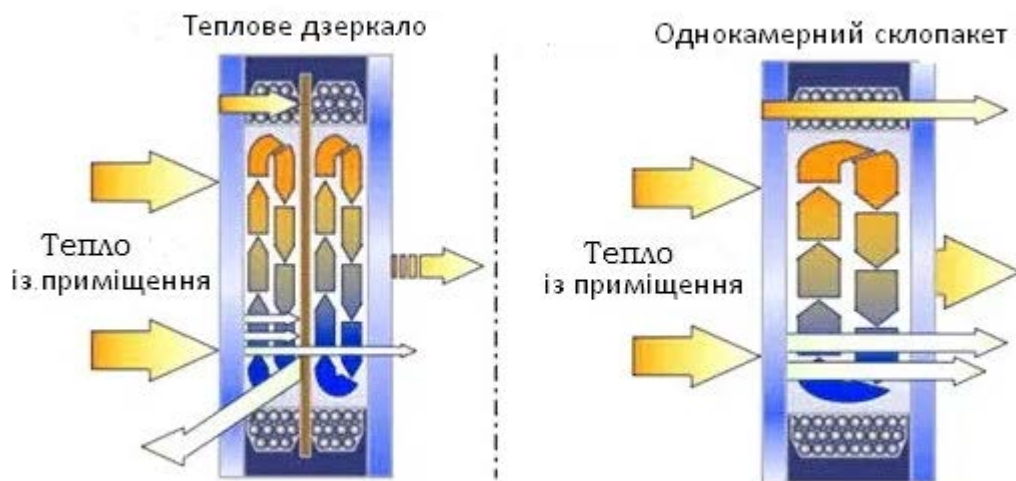


Рис. 6. Робота вікна з використанням ефекту дзеркала у порівнянні роботи зі звичайним однокамерним віконним блоком

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Смарт-скловікна – інноваційна технологія

Підтримка спонсорів та інвесторів дозволяє не зупиняючись розвивати дані технології. Але технологічні можливості ще не вичерпані.

Як приклад, було розроблено технологію поглинання сонячного світла поверхнею вікна, та конвертацією світла в електроенергію, що можливо використовувати для потреб будівлі. Так, організація National Renewable Energy Laboratory (NREL) достатньо давно працює над створенням ефективного прототипу вікон зі склом, що грає роль сонячних батарей. Тобто, вони служать як термометр для приміщення – можуть змінювати їх температуру завдяки зміні своєї прозорості, та генераторами електроенергії з сонячного світла. Зараз КПД цього типу вікон 11,3%. Чим прозорість такого скла нижча, тим більше енергії конвертують вікна. При освітленні фототермічне нагрівання активізує шар поглинача, що складається з комплексної сполуки - перовскит-метиламінового галогеніда, з прозорого стану (68% видимого пропускання) в поглинаючий «фотовольтаїчний кольоровий» стан (пропускає менш як 3% видимого випромінювання) через дисоціації метиламіну. Після охолодження комплекс метиламін відновлюється, повертаючи шар абсорбера в прозорий стан, в якому пристрій діє як звичайне вікно, пропускає видиме світло. Сучасна панель здатна робити впродовж 25 років (приблизно 9000 циклів) [8].

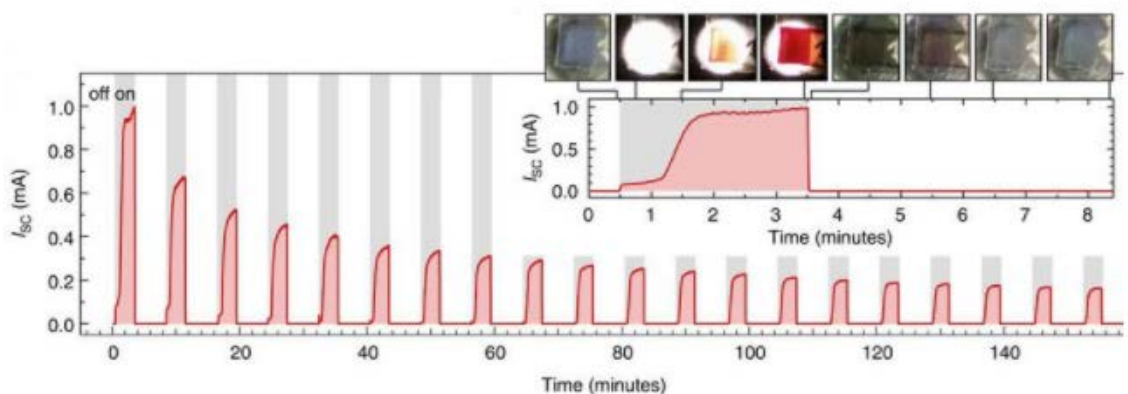


Рис.7. Зображення графіку збільшення виробітку енергії при зміні стану скла від повністю прозорого до непрозорого стану.

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	ABP	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Як зазначають розробники, зараз максимальна продуктивність скла можлива лише при першому циклі, над чим і працюють вчені. Також, регулювання прозорості скла в даній технології є ще неможливою, що звужує коло використання даних віконних систем. Можливе влаштування таких вікон по черзі зі звичайними, задля збереження більшої кількості світла за потреби, або в місцях де постійна потреба у світлі не є актуальною.

Вчені з Мічиганського університету змогли розв'язувати питання з прозорістю скла при конвертуванні сонячного світла в електроенергію. В даному випадку, вони розробили технологію «сонячного концентрату»: органічні солі поглинають ультрафіолетові та інфрачервоні випромінювання, концентруючись всередині панелі вони переходять в інфрачервоний діапазон, відображаючись від поверхонь панелей всередині переходять до краю панелі, та завдяки розташованим там вузьких смужок зі звичайних фотовольтаїчних панелей, які поглинають світло, виробляється енергія. На жаль ККД таких вікон досягає зараз лише 1%, і не може повністю використовуватись в повсякденному житті [9].

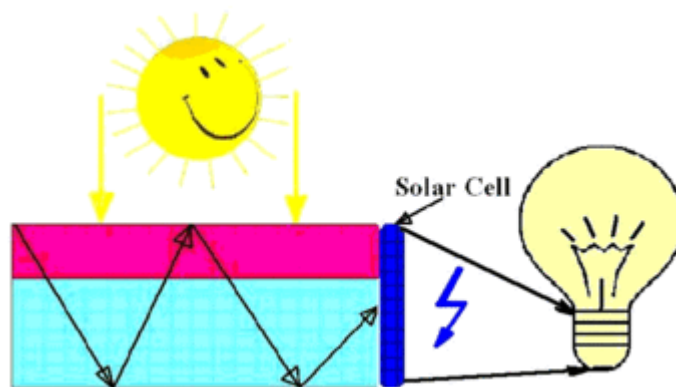


Рис.8. Рух випромінювання в технології «сонячний концентрат».

Щодо актуальності такої технології навіть з таким маленьким ККД у 1%, можемо розрахувати скільки така панель буде давати кВт.

Виконаємо розрахунки. Наша будівля має розміри 14,0 x 50,2 метрів в плані. Площа поверхні скління згідно технологічній карті – 1 534,1 кв.м,

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

приймаємо 1 535 кв.м. Кут падіння сонячних променів буде змінюватися весь день, приймаємо, 60 градусів.

Падаючий потік в сонячний день при максимальній освітлюваності при чистому небі (освітлюваність 100 000 лк):

$$100\ 000 \times 1\ 535 \times \cos 60 = 76\ 750\ 000 \text{ Вт} = 76\ 750 \text{ кВт.}$$

У похмурий день буде на порядок менше (освітлюваність 2000 лк):

$$2000 \times 1\ 535 \times \cos 60 = 1\ 535\ 000 \text{ Вт} = 1\ 535 \text{ кВт.}$$

Висновок: При ефективності в 1% така панель буде давати:

- в сонячний день $76\ 750 \times 1\% = 767,5 \text{ кВт,}$
- у похмурий день $1\ 535 \times 1\% = 15,35 \text{ кВт.}$

Американська компанія SolarWindow Technologies у 2016 році виходить на ринок генерації сонячної енергії з досить амбітним проектом. Вони продовжили розробку колег з Мічиганського університету технології «сонячний концентрат». Як вважають його автори, сонячні батареї на дахах будинків цілком можуть бути замінені склом звичайних вікон. На скло наноситься спеціальне рідке покриття, яке потім засихає під впливом низьких температур. Воно виконане з вуглецевого матеріалу, водню, азоту і кисню. В результаті формується тонка прозора органічна плівка. Процес вимагає нанесення декількох шарів, один з яких - так званий, активний шар - виробляє електрику. Для передачі електрики в покритті SolarWindow використовуються мікроскопічні канали (зліва), які в два рази тонше за людську волосину (праворуч).

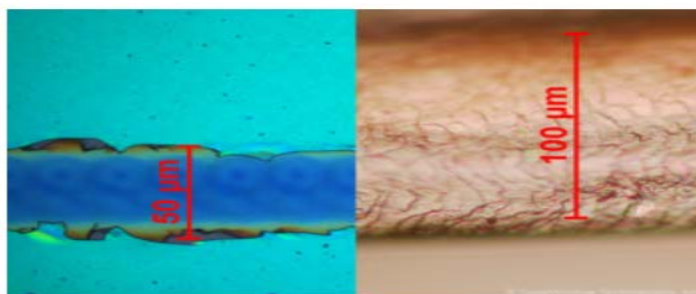


Рис.9. Для передачі електрики в покритті SolarWindow використовуються мікроскопічні канали (зліва), які у два рази тонше за людську волосину (праворуч) [10].

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Технологія може застосовуватися двома способами. Покриття можна нанести як на вже встановлені вікна, так і на склопакети до їх монтажу - знадобляться лише послуги електрика, який проведе необхідні дроти. Розробники стверджують, якщо покрити всі скляні поверхні сучасного хмарочоса складом від SolarWindow, то 30-50% необхідної будівлі енергії можна буде отримувати від сонця. Витрати на установку сонячних панелей в 50-поверховому будинку окупляться через рік. У компанії також стверджують, що за допомогою «сонячних» вікон можна виробляти в 50 раз більше енергії, ніж від фотоелектричних установок на даху. При цьому покриття виробляє електрику не тільки від сонячного світла, але і від штучного.

Головна проблема технології SolarWindow - це неможливість зробити вікна повністю прозорими. Вуглецевий шар робить скло затемненим, а підвищення енергоефективності робить тонування ще більш помітною. Стартап вже 7 років удосконалює технологію, але максимум, якого вдалося досягти, - це 80% прозорість [10]. Технологія, розроблена стартапом, може також застосовуватися в автомобільній індустрії. Люк в автомобілі з відкритим верхом, лобове скло і бічні дзеркала можна також перетворити в систему збору сонячної енергії. Методика підійде для розробок у військовій, аерокосмічній і текстильній галузях.

SolarWindow не єдина компанія на ринку, яка планує перетворити хмарочоси в сонячні електростанції. Подібні продукти розробляють також британська Oxford PV, американські Solaria і Ubiquitous Energy, іспанська Onyx Solar.

Дослідники, очолювані Ян-Яном Сонгом з Північно-Східного університету в Шеньяні, Китай, та Сін-Хуа Ся з Нанкінського університету в Нанкіні, Китай, опублікували статтю про нове «стерильне розумне вікно». Як пояснюють дослідники, інтеграція декількох функцій в одне розумне вікно представляє складність, оскільки кожна функція зазвичай вимагає різного складу матеріалу. Наприклад, одним із найбільш широко використовуваних матеріалів для

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

розумних вікон, що контролюють пропускання видимого світла, є WO_3 (триоксид вольфраму). Як електрохромний матеріал, WO_3 може оборотно змінювати свій оптичний коефіцієнт пропускання у відповідь на електрохімічний заряд і розряд. З іншого боку, у розумних вікнах, які перетворюють ближнє інфрачервоне сонячне випромінювання в тепло, як правило, беруть участь наночастинки металу. Також широкий спектр матеріалів має протимікробні властивості, особливо мідь. Поки що, однак, поєднання всіх цих властивостей в одному матеріалі залишалося проблемою.

У своєму дослідженні вчені спроектували електрохромно-фототермічну плівку, складену з 3D WO_3 , у структурі, подібній до стільників, вкладеної в наночастинки золота та нанородів. Поки WO_3 контролює кількість видимого світла, яке проходить через вікно, золоті наноструктури перетворюють надходить сонячне світло в теплову енергію для опалення інтер'єру будівлі. Ця стратегія досягає чудового фототермічного перетворення за рахунок оптимізації сонячного підсилення на електрохромних плівках, і, що важливо, ефективність фототермічного регулювання під час оптичної передачі [11].

Дослідники продемонстрували, що вікно може змінитись із повністю прозорого на темно-чорний протягом декількох хвилин. Крім того, вони показали, що інфрачервоний лазер підвищує температуру вікна на $24^\circ C$ приблизно за п'ять хвилин. Щоб дослідити антимікробні властивості вікна, дослідники обробили його кишковою паличкою та опромінили ближньо-інфрачервоним лазером. Вони виявили, що бактерицидний ефект був найсильнішим, коли вікно було в темному стані, в якому воно могло знищити практично всі бактерії. Навпаки, ефект був набагато слабкішим для вікон у прозорому стані, а також для вікон, виготовлених лише з WO_3 або лише золоті наноструктури, а не обидва матеріали разом узяті [11]. Результати дозволяють припустити, що більшість бактерицидних ефектів зумовлені фототермічними властивостями вікна. Стерильне розумне вікно буде особливо корисним у літаках, а також у лікарнях.

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Джеремі Мандей та його колеги звернули увагу на те, що більшість наявних розумних вікон, що працюють на сонячних батареях, розроблені для автоматичного реагування на мінливі умови, такі як світло або тепло. Але це означає, що в прохолодні або похмурі дні споживачі не можуть натиснути перемикач і тонувати вікна для забезпечення конфіденційності. Крім того, ці пристрої часто працюють на частку світлової енергії, якій вони піддаються, тоді як решта поглинається вікнами. Це нагріває їх, що може додати тепла приміщенню, яке вікна повинні допомагати зберігати прохолоду. Тому дослідники вирішили усунути ці обмеження, та створили нове розумне вікно, закріпивши між двома скляними панелями полімерну матрицю, що містить мікрокрапельки рідкокристалічних матеріалів, і аморфний шар кремнію - тип, який часто використовують у сонячних елементах. Коли вікно "вимкнено", рідкі кристали розсіюють світло, роблячи скло непрозорим. Кремнієвий шар поглинає світло і забезпечує низьку потужність, необхідну для вирівнювання кристалів, щоб світло могло проходити крізь нього і робити вікно прозорим, коли вікно вмикається користувачем. Додаткова енергія, яка не спрямовується на роботу з вікном, збирається і може бути перенаправлена на живлення інших пристроїв, таких як світло, телевізори або смартфони [12].

Український підприємець Євген Ерік пропонує досить оригінальне і відносно недороге рішення використання сонячного світла задля економії потреб в кондиціонуванні та додатковому отриманні енергії для забезпечення будівель: **енергогенеруючі сонячні жалюзі**. Стандартне вікно, обладнане таким незвичайним пристроєм, зможе виробляти (при оптимальних умовах) до 100 кВт електрики на місяць. Вартість таких фотоелектричних жалюзів становитиме приблизно 300 доларів (з монтажем). Пристрій SolarGaps є фотоелектричні елементи, які монтуються на віконні жалюзі з внутрішньої або зовнішньої частини віконного отвору. Ці модулі перетворюють сонячне випромінювання в теплову та електричну енергію, роблячи приміщення незалежним від зовнішніх електричних мереж.

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Потужність SolarGaps на квадратному метрі віконного отвору досягає 150 Ватт при зовнішньому розміщенні жалюзі і до 100 Ватт при внутрішньому. Тож підрахувати, що жалюзі SolarGaps, встановлені в трикімнатній квартирі з вікнами, що виходять на південь, здатні виробляти до 600 Ватт на годину або близько 4 кВт в день, а це 100 кВт на місяць, при споживанні квартири від 100 до 250 кВт в місяць. Економія тільки на кондиціонуванні за рахунок блокування прямих сонячних променів може досягати 90% [13]. Тож, одержувану енергію можна використовувати для роботи комп'ютерів, побутової техніки та освітлення.

Вибір існуючих методів оцінки ефективності вибору енергозберігаючих рішень в житловому будівництві

Економічні аспекти ефективності енерго- і ресурсозберігаючих заходів визначаються системою показників, що відображають співвідношення витрат на проведення заходів і одержуваних результатів.

Залежно від масштабності заходів з енергозбереження для оцінки економічної ефективності їх реалізації на практиці використовують прості (без урахування фактора часу) і інтегральні (дисконтовані) показники:

- простий і дисконтований термін окупності;
- чистий дисконтований дохід (ЧДД);
- індекс дохідності інвестицій (ВД);
- внутрішня норма доходу (ВНД);
- сукупні дисконтовані витрати по проекту (СДЗ);
- показник порівняльної ефективності енергозбереження та ін.

Для оцінки співвідношення вартості збереженої енергії та витрат на реалізацію енергозберігаючих заходів в житлових будинках можна використовувати такий показник, як ефективність енергозберігаючих рішень з урахуванням тарифів на енергію [18].

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

В основі всіх застосовуваних показників лежить загальний принцип - отримання найбільшого ефекту при мінімумі витрат.

Сучасним методом оцінки ефективності реалізації ресурсозберігаючих проектів є аналіз вартості життєвого циклу (ВЖЦ) варіантів проекту (Life-Cycle Cost Analysis (LCCA) Method). В його основі лежить наступний принцип: енергетична ефективність будівлі та економічні аспекти вжитих заходів повинні бути збалансовані, тобто економічно оптимальний рівень витрат на реалізацію ресурсозберігаючих рішень повинен відповідати такому рівню енергетичної ефективності будівлі, при якому вартість його життєвого циклу буде мінімальна [19]. При цьому у вартість життєвого циклу укрупнено включаються капітальні витрати, вартість технічного обслуговування, експлуатації, а також витрати на утилізацію об'єкта. Life-Cycle Cost Analysis метод дозволяє вибрати серед кількох варіантів проектних рішень найкращий варіант в даних конкретних умовах шляхом порівняння одержуваної ВЖЦ будівлі по кожному варіанту.

Для оцінки ефективності реалізації влаштування віконних блоків використовуємо показник порівняльної ефективності реалізації ЕРР $F(x)$, який розраховується по формулі:

$$F(x) = T_x x e_x - Z_x \rightarrow \max,$$

де T_x - термін служби енергоефективного матеріалу, обладнання;

e_x - отримується економія енергії (за умови, що $e_x \rightarrow \max$ в своїй групі).

Z_x - загальні витрати на реалізацію енергоефективного заходу, що визначаються за формулою:

$$Z_x = C_x + C_e,$$

де C_x - первісна вартість капіталовкладень;

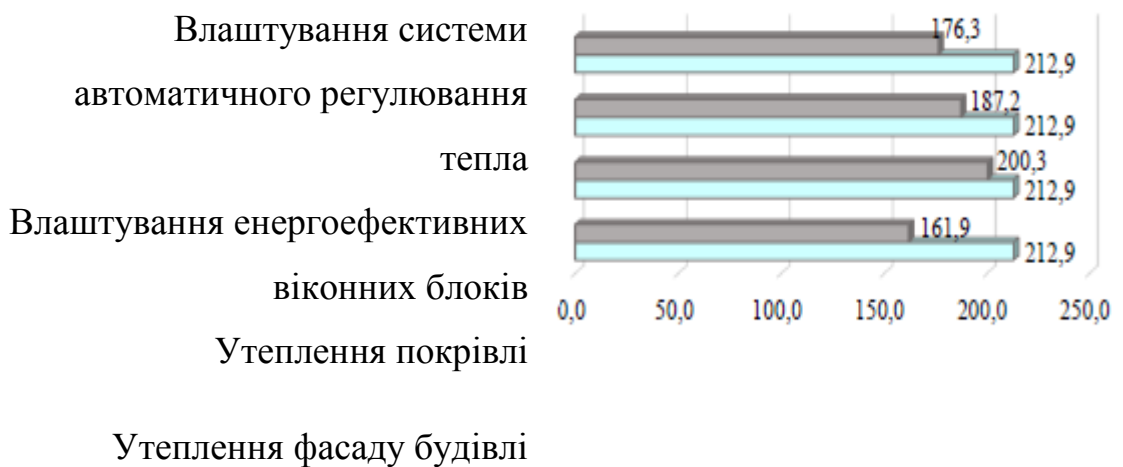
C_e - вартість енергії і шкідливих викидів при виробництві та утилізації енергоефективного обладнання, матеріалу [20].

Запропонований показник оцінки ефективності реалізації ЕРР забезпечує найбільш повний облік всіх енергетичних витрат, тому що враховує в розраху-

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

нках дані не тільки вторинного, але і первинне енерго-ресурсне споживання (витрата енергії, вартість екологічних збитків на етапі виробництва енергозберігаючих матеріалів, виробів, обладнання), орієнтує будівельні рішення на врахування екологічних принципів [20].

Враховуючи, що значну долю економії енергії в житловому будинку забезпечують заходи щодо підвищення термічного опору огорожувальних конструкцій: теплоізоляція стін і установка енергоефективного скління, розглянемо графік потреби будівлі в тепловій енергії до та після реалізації ресурсозберігаючих рішень (рис. 10) [21].



- До реалізації рішень ■ Після реалізації рішень

Рис. 10. Потреба будівлі в тепловій енергії до та після реалізації ресурсозберігаючих рішень (кДж/м²·°С·доба) [21].

Вибір варіантів віконних блоків

На основі аналізу будівельного ринку здійснюємо підбір можливих варіантів віконних блоків і виконуємо їх порівняння за основними фізико-технічними показниками.

Підібрані віконні блоки повинні бути екологічно безпечними і забезпечувати виконання мінімально необхідних нормативних вимог в частині теплового захисту будівлі ($R_{tr} \leq R_{расч}$). Матеріали, що не задовольняють цим вимогам,

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

виключаються з подальшого розгляду. Остаточний вибір теплоізоляційного матеріалу здійснюють за результатами розрахунку показника F_X наведеного вище.

Використовуємо представлений алгоритм вибору енергоефективних віконних блоків на схемі 1.



Схема 1. Алгоритм вибору віконних блоків з кількох альтернативних варіантів

Теплопередача в світлопрозорих конструкціях здійснюється за допомогою теплопровідності, конвекції і теплового випромінювання. Теплофізичні властивості віконних блоків залежать від типу профілю (кількості повітряних

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

камер, наявності та типу їх заповнювачу), якості ущільнювачів і типу скління.

Енергетична ефективність віконного блоку визначається профільної системою і коефіцієнтом емісії скла (світлопропускаючою здатністю) [22].

Підвищення енергоефективності світлопрозорих конструкцій можливо за рахунок використання технологій смарт-вікон або/та за рахунок:

- застосування в склопакетах теплоізоляційних дистанційних рамок;
- установки скла з тепловідбивним покриттям;
- заповнення склопакетів інертними газами;
- використання добавок, поглинаючих сонячну енергію,
- використання скла з термохромним покриттям,
- заповнення оксидом вольфрамом між двома площинами скла,
- використання рідкокристалічних молекул між двома провідними електродами,
- використання 3-5 активних шарів, що адсорбують дипольні голкоподібні або сферичні частинки;
- влаштування тонкої прозорої змонтованої тканини усередині склопакету.

При розрахунку економії енергії, одержуваної при установці в приміщенні енергоефективних смарт склопакетів, відповідно до запропонованої методики, враховують:

- тривалість світлового дня,
- щільність потоку теплової енергії,
- коефіцієнти відображення і поглинання сонячної енергії,
- термін служби віконних конструкцій.

Перспективним напрямком в галузі енергозбереження є застосування альтернативних джерел енергії в роботі інженерних систем будівель. З урахуванням особливостей даного класу енергозберігаючих рішень нами запропонована методика оптимізації їх вибору, алгоритм якої представлений на схемі 2.

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>АВР</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

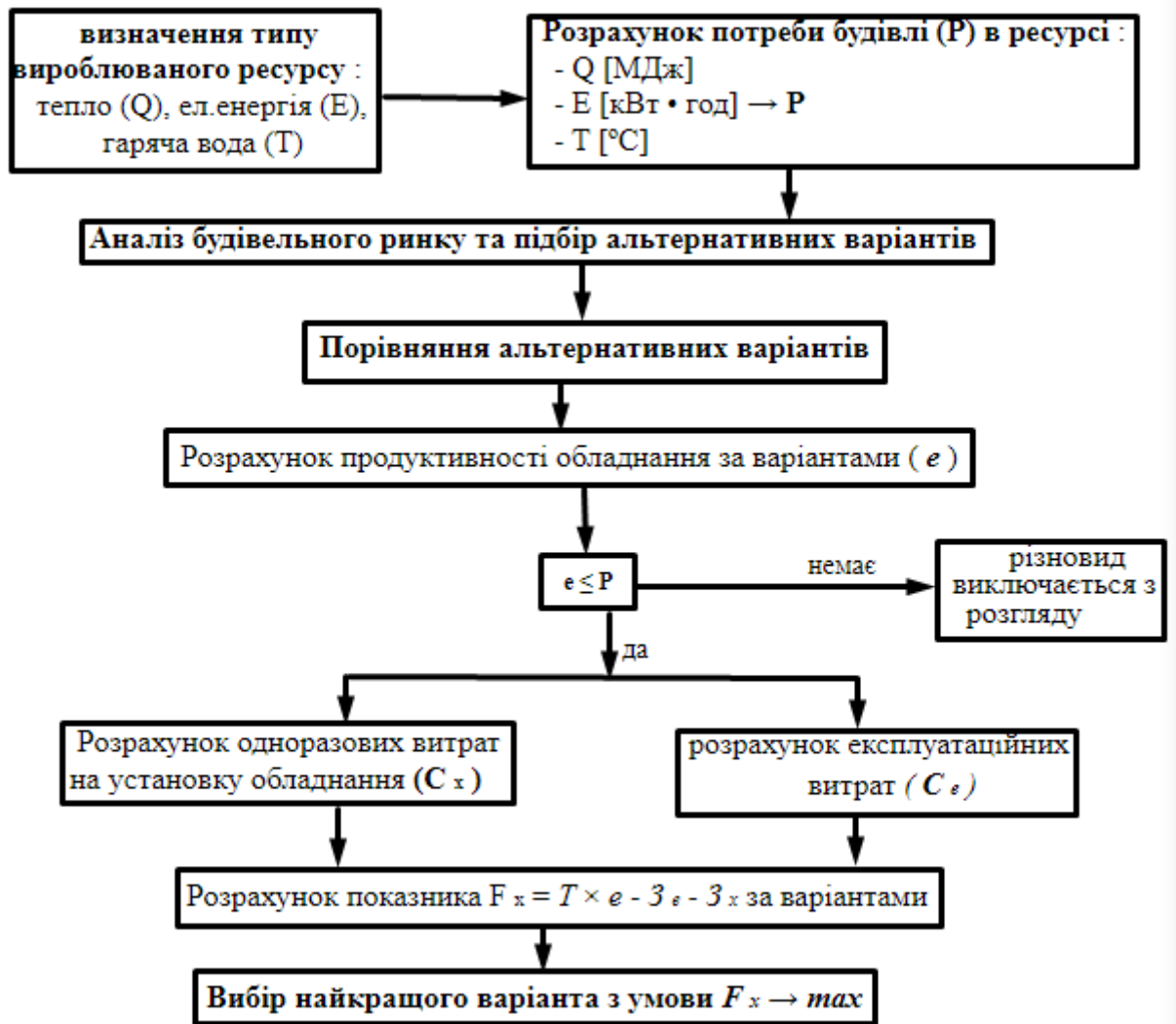


Схема 2. Алгоритм вибору обладнання, що використовує альтернативні джерела енергії

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Комплексна оцінка ефективності та вибору оптимальних організаційно-технологічних ресурсозберігаючих рішень на стадії проектування

Комплексна оцінка ефективності вибору енергозберігаючих смарт-вікон виконується на основі розробленої методики вибору оптимальних ресурсозберігаючих рішень на різних стадіях ЖЦБ за Миненко Е.Н. [21].

На етапі проектування, враховуючі основні цілі, вибір варіантів здійснюється за формулою [21]:

$$F(\sum_{i=1}^n A_{px}; \sum_{j=1}^k O_{б-пл}; \sum_{m=1}^f K_{онстр}; \sum_{y=1}^z I_{нж}) = \frac{P_{ж.ц.}}{S_{уст}} \rightarrow \min,$$

де F - цільова функція вибору архітектурних (Арх), об'ємно-планувальних (О-пл), конструктивних (Констр) і інженерних (Інж), реалізація яких, при існуючих обмеженнях, забезпечить досягнення найменшої вартості ЖЦ будівлі при максимальному ступені його екологічності, рівня енергозбереження та комфортності;

$P_{ж.ц.}$ - вартість життєвого циклу будівлі (ЖЦБ), що складається з сукупних витрат фінансових, матеріальних і трудових ресурсів на стадії проектування, будівництва, експлуатації та ліквідації будівельного об'єкта;

$S_{уст}$ - інтегральний показник стійкості будівлі.

Дана формула являє собою сукупність ресурсозберігаючих архітектурних, планувальних, конструктивних та інженерних рішень, які при існуючих обмеженнях виконання проекту забезпечать досягнення найменшої вартості життєвого циклу будівлі при максимальному ступені його безпечності, екологічності, рівня енергозбереження та комфортності.

При новому будівництві механізм вибору найкращого варіанту енергоефективних рішень може бути представлений у вигляді математичної моделі [21]:

$$\begin{cases} \sum \text{проект} + \sum \text{стр} + \sum \text{експл} + \sum \text{ликв} = P_{ж.ц.} \rightarrow \min \\ S_{уст} > S_{уст}^{min} \\ \frac{P_{ж.ц.}}{S_{уст}} \rightarrow \min, \end{cases}$$

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

де Σ проект, Σ стр, Σ експл, Σ лікв - вартість сукупних витрат проектної, будівельної, експлуатаційної та ліквідаційної фаз ЖЦ будівництва об'єкту відповідно.

За обраною методикою вибір і комплексна оцінка ефективності організаційно-технологічних енергоефективних ресурсів на етапі проектування виконується таким чином:



Схема 3. Алгоритм методики комплексної оцінки ефективності та вибору варіантів організаційно-технологічних енергозберігаючих ресурсів в житловому будівництві [21]

Етап 1. Формування вихідних даних для вибору ЕР:

- місце будівництва;
- набір параметрів будівлі;
- техніко-економічні показники, які планується досягти;
- обмеження по вартості будівництва та/або вартості володіння.

Для об'єктів, життєвий цикл яких починається з передпроектної стадії одразу переходять до етапу 3.

Етап 2. Передбачає підбір альтернативних варіантів ЕРР ландшафтних, архітектурних, об'ємно-планувальних, конструктивних рішень та інженерних систем,

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>АВР</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

обладнання, які можуть бути застосовані в конкретних умовах. Формування з них груп альтернативних варіантів, планованих до реалізації в даному проекті на основі їх попередньої оцінки [21].

Етап 3. Оцінка вартості життєвого циклу будівлі за варіантами. Вартість ЖЦБ включає:

1. одноразові витрати на проектування, будівництво, введення об'єкта в експлуатацію і його подальшу утилізацію;
2. періодичні витрати на обслуговування будівлі протягом її експлуатації, комунальні платежі, поточний та капітальний ремонт [24,25].

Також на даному етапі для кожного з розглянутих варіантів виробляють розрахунок показника загального енергоспоживання будівлі за весь його життєвий цикл, визначають величину витрат на реалізацію енергозберігаючих заходів [21].

Етап 4. Оцінка стійкості будівлі, що досягається за рахунок реалізації енергоефективних ресурсів.

Передбачає врахування факторів, що можуть дестабілізувати стійкість будівлі, а саме:

- внутрішні фактори (наприклад, помилки при проектуванні, що перешкоджають досягненню об'єктом високих вимог в частині раціонального споживання ресурсів або рівня комфортності протягом ЖЦБ; низька якість реалізації проектних рішень в ході виконання будівельно-монтажних робіт; організаційно-управлінські та матеріально-технічні фактори)
- зовнішні фактори (господарсько-правові та адміністративні чинники, економічні чинники (наприклад, високий рівень цін на екологічно чисті матеріали, інноваційні технології енергозберігаюче обладнання; висока вартість позикових коштів, залучаються для інвестування в будівництво і т.д.) [21].

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Для оцінки стійкості, що досягається будівлею, при реалізації енерго- та ресурсозберігаючих рішень, використовується інтегральний показник стійкості будівельного об'єкта S_{ct} за Міненко Е.М. [21].

Етап 4. Перевірка вимог $S_{ct} > S_{ct \min} = 141$.

Етап 5. Розрахунок відношення вартості життєвого циклу проекту до показника його стійкості по кожному з варіантів.

Етап 6. Вибір найліпшого варіанту з умови $R_{жц}/S_{ct} \rightarrow \min$.

Вибір саме цієї методики у порівнянні з іншими методиками обумовлено тим, що максимально враховано усі витрати, пов'язані з реалізацією обраних ресурсозберігаючих рішень, так як виконується розрахунок усього життєвого циклу будівлі. А також, врахування економічних, екологічних та соціальних інтересів суспільства при виборі енергозберігаючих рішень, що забезпечує, в кінцевому підсумку, активне впровадження в практику проектування і будівництва сучасних технологій і матеріалів, принципів сталого розвитку [26].

Комплексний розрахунок оцінки реалізації обраних енергоефективних смарт-вікон

Техніко-економічні показники будівлі, що проектується наведені в Економічному розділі.

Градусо-дні опалювального періоду для міста Київ:

$$(20^{\circ}\text{C} - (-0,6^{\circ}\text{C})) \times 176 \text{ доб.} = 3626^{\circ}\text{C}\cdot\text{дні.}$$

Нормативне значення питомої річної витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію для 10-ти поверхової будівлі при $3626^{\circ}\text{C}\cdot\text{днів}$ опалювального періоду за даними на 01.01.2020 року та даними літератури [27] методом інтерполяції розраховано – $45\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$.

Виконаємо порівняння використання трьох варіантів влаштування вікон:

Варіант 1. Двошарові ПВХ вікна

Варіант 2. Вікна, що виробляють енергію (КПД=11,5%)

Варіант 3. Електрохромні вікна

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Виконуємо оцінку досягнення кожним з варіантів показників стійкості екологічної, соціальної та економічної груп.

Таблиця 13. Оцінка екологічної складової

Показник стійкості	Кількість балів		
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Енергозбереження та енергоефективність (X 11)	0	1	0,75
Застосування альтернативних джерел енергії (X 12)	0	1	0,66
Скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу (X 13)	0	0,66	1
Раціональне водокористування (X 14)	0	0	0
Способи поводження з побутовими відходами (X 15)	0	0	0
Використання матеріалів і виробів, що мають екологічний сертифікат відповідності (X 16)	1	1	1
Сума балів усіх показників за варіантами (ΣX ij)	1	3,66	3,41

Таблиця 14. Оцінка соціальної складової

Показник стійкості	Кількість балів		
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Формування безпечного середовища для життєдіяльності людини (X 21)	0,15	0,6	0,45
Забезпечення вимог внутрішньої комфортності будівель (X 22)	0,15	0,5	0,5
Облік принципів ергономіки при проектуванні будинків (X 23)	0	0	1
Доступне середовище життєдіяльності для маломобільних груп населення (X 24)	0	0	0
Відеоекологія, поліпшення візуального середовища міста (X 25)	0	0	0
Послуги із благоустрою та озелененню прилеглої території (X 26)	0	0	0
Сума балів усіх показників за варіантами (ΣX ij)	0,3	1,1	1,95

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Таблиця 15. Оцінка економічної складової

Показник стійкості	Кількість балів		
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Зниження експлуатаційних витрат (X 31)	0,25	1	0,75
Показник ефективності енергозберігаючих заходів з урахуванням тарифів на енергію (X 32)	0	1	1
Показник порівняльної ефективності енергозбереження (X 33)	0	1	0,5
Чиста поточна вартість (X 34)	0	0	0
Термін окупності (X 35)	1	0	0,7
Внутрішня норма прибутковості (X 36)	1	1	1
Сума балів усіх показників за варіантами (ΣX ij)	2,25	4	3,95

Далі виконаємо розрахунок стійкості, що досягається будівлею, при реалізації кожного з 3-х варіантів, з отриманої ваги значимості показників кожної групи факторів (таблиця 16), за формулою:

$$S_{\text{уст}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \times w_i \times 100,$$

де X_{ij} - оцінка в балах j -го показника i -ї групи факторів стійкості;

n - кількість показників стійкості;

w_i - вагомість i -го фактора стійкості, таблиця 9,

m - число факторів стійкості [26].

Таблиця 16. Вагомість i -го фактора стійкості.

фактори стійкості	екологічні	соціальні	економічні
(I) вага фактора	$w_1 = 0.419$	$w_2 = 0.267$	$w_3 = 0.314$

Розрахунок вартості життєвого циклу Рвжц кожного з видів влаштування виконуємо врахувавши площу скління будівлі (підрахунок якої наведено в технологічній карті роботи), вартість робіт влаштування 1кв.м. обраного варіанту скління, та вартість 1кв.м. самого матеріалу.

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Таблиця 17. Розрахунок вартості життєвого циклу кожного з видів влаштування віконних блоків

Показник	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Площа скління, кв.м	1532,1		
Вартість робіт влаштування 1 кв.м, грн/кв.м	200,00*	42861,28**	1132,72**
Вартість віконної системи, грн/кв.м	718,00*	428612,79***	11327,22****
Загальна вартість, тис. грн	1406,47	722345,42	19086,87

Примітки: *[29];

** ціна врахована, як 10% від вартості віконної системи;

***[30];

****[31].

Таблиця 18. Розрахунок показника стійкості обраних варіантів

Показник	Значення показників		
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Сума балів з урахуванням значущості екологічної групи факторів ($Y_1 = \sum X \times w_1$)	0,419	1,53	1,43
Сума балів з урахуванням значущості соціальної групи факторів ($Y_2 = \sum X \times w_2$)	0,08	0,29	0,52
Сума балів з урахуванням значущості економічної групи факторів ($Y_3 = \sum X \times w_3$)	0,71	1,26	1,24
Показник стійкості об'єкта (S_{ct}), бали	120,9	308,00	319,00
Ростж.ц./ S_{ct}	11,63	2345,2	59,83

Висновки до розрахунку

- Варіант 1 являє собою влаштування звичайних вікон ПВХ, і не є достатнім для підвищення рівня енергоефективності будівлі, бо показник стійкості згідно розрахунків $S_{ct} = 120,9 < S_{ct \text{ min}} = 141$.
- Варіанти 2 та 3 по показнику стійкості об'єкту є ефективними варіантами для підвищення енергоефективності будівлі, відносяться до середнього ступеня стійкості будівлі [таблиця 2.10, 21]

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

3. З розрахунків видно, що найдорожчим та економічно не ефективним є варіант 2, бо має дуже велику ціну реалізації.
4. Варіант 1 є найдешевшим, але не енергозберігаючим видом.
5. Варіант 3 з розрахунку, є в 13,6 разів дорожчим за Варіант 1, але в 37,8 разів дешевше за Варіант 2.
6. Варіант 3 є енергоефективним варіантом, тому з висновків вище, обирається як найкращий варіант для забезпечення енергоефективності будівлі за рахунок віконних систем.

Результати наукового дослідження

Тенденція використання природних копалин зменшується, на перші позиції виходять енергозбереження та екосистеми. Тому використання скляного оздоблення будівель стало відправною точкою у пошуку нових технологій збереження використання електроенергії, зменшення потреб у кондиціонуванні та додатковому освітленні. Розроблене смарт-скло є вдосконаленим типом скла, яке здатне змінювати прозорість в залежності від різних умов, або переробляти сонячне світло в електроенергію, якою можливо користуватись на потреби людини. В роботі досліджується поява перших видів смарт-вікон, та подальші розробки смарт-вікон з використанням різних плівок, хімічних та органічних сполук. Перспективність використання розумного скла для поліпшення природного освітлення в різних сферах та майбутні можливості пов'язаних технологій методами порівняння декількох видів смарт-скла. Наведено основні види смарт-вікон: фотохромне вікно, термохромне вікно, електрохромне вікно, рідкокристалічні вікна, вікна на основі зважених частинок, вікно з використанням «Теплового дзеркала». На основі наведеної характеристики різних технологій смарт-скла виявлено його переваги та недоліки, також пов'язані з ними складності, які в перспективі повинні бути дозволені. Сформована класифікація смарт-вікон за типом використання в них плівок, та

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

їх переваги та недоліки використання. Описується основні новітні технології поглинання сонячного світла поверхнею вікна, та конвертацією світла в електроенергію, проблематика досягання прозорості склом, та тенденція розв'язання цього питання. На конкретних прикладах розглянуто області застосування скла з керованою прозорістю, та отримані економічні показники при його використанні в будівлях. Розглянуто технологію використання сонячних батарей у виді жалюзів та їх вплив на забезпечення будівлі енергією. Виявлено, що з розвитком техніки та технології виробництва смарт-скла відбулося поліпшення деяких його оптичних властивостей, що сприяло зменшенні його вартості, що веде до збільшення доступності даного матеріалу. Були розглянуті різні види смарт-скла, що відрізняються один від одного оптичними характеристиками, такими, як ступінь прозорості та матовість, властивостями, цілями використання, методами використання, та основною технологією виготовлення. Ці властивості визначаються будовою шару смарт-плівки, прикріплюється до скла. Було виявлено, що скло на зважених частинках більше підходить для установки на скло автомобілів, а скло з електрохромним шаром - для житлових і офісних приміщень, оскільки воно не потребує подачі напруги для підтримки прозорості. Недоліками смарт-скла нині залишаються висока вартість і енерговитратність, не 100% прозорість при виробітку електроенергії. Необхідно враховувати, що дані проблеми знаходяться на стадії рішення, так як розвиток техніки і технології стрімкий, а також існує достатньо багато фінансових вкладень в досліджувану сферу. Ми можемо сміливо говорити про такі позитивних якостях даного матеріалу, як естетична виразність і багатофункціональність, адже даний матеріал одночасно поєднує в собі функції звичайного скла, світлового затвора і проєкційного екрана.

Розглянуті методики вибору енерго-ресурсозберігаючих рішень на передпроектній та проектній стадіях життєвого циклу будівлі. Наведені приклади та результати моделювання зміни вартості робіт при зміні віконних блоків та зниження витрат енергії будинку на опалення. Також результати порівняль-

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

ного аналізу ефективності застосування різних віконних блоків. Розглянуто методики і показники, що характеризують економічні аспекти ефективності ресурсозберігаючих рішень та їх вибору. Розроблено алгоритм методики комплексної оцінки ефективності та вибору варіантів організаційно-технологічних енергозберігаючих ресурсів в житловому будівництві. Виконано розрахунок за методикою спільного врахування впливу на вибір варіантів енергозберігаючих рішень відразу трьох чинників: екологічних, соціальних та економічних, з яких було обрано найоптимальнішим Варіант 3. Влаштування електрохромних вікон.

<i>Зм.</i>	<i>Кільк</i>	<i>Арк.</i>	<i>№</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	<i>АВР</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Розробив</i>							
<i>Консульт.</i>							

Методика розрахунку показника стійкості будівлі

Показник стійкості будівлі - це інтегральний показник, розрахунок якого виконують по формулі:

$$S_{уст} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \times w_i \times 100,$$

де X_{ij} – оцінка у балах j -го показника i -ї групи факторів стійкості;

n – кількість показників стійкості;

w_i – важність i -го факторау стійкості;

m – число факторів стійкості [26].

Розглянуті фактори стійкості утворюють 3 групи: соціальні, економічні та екологічні. Значимість, вага (w_i) кожної групи факторів прийняті на основі результатів їх експертної оцінки. Об'єкт оцінки - екологічні, соціальні та економічні фактори стійкості будівель. Спосіб вимірювання об'єктів - парне порівняння. Переваги обраного методу оцінки: даний метод дозволяє встановити рівність об'єктів оцінки або відповідні переваги серед них шляхом виявлення в кожній парі найбільш значимого об'єкта [33].

Кількість експертів, що залучаються до оцінки - 3. Парне порівняння виконано на основі наступної системи градацій оцінок значущості факторів:

5 - фактор k надає більший вплив на стійкість будівлі в порівнянні з фактором l ;

3 - порівнювані чинники рівнозначні;

1 - фактор k чинить менший вплив, ніж фактор l ,

де їх об'єднання r_{kl}^h - експертна оцінка кожної пари факторів стійкості [26].

За результатами виконаного опитування (парної оцінки) ступеня впливу на загальну стійкість будівель трьох різних груп факторів отримані наступні матриці парних порівнянь (таблиця 6) [26].

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Таблиця 6. Результати попарного порівняння експертами факторів стійкості будівлі

Експерт № 1				
i \ j	w ₁	w ₂	w ₃	
w ₁	3	5	1	
w ₂	1	3	1	
w ₃	5	5	1	

Експерт № 2				
i \ j	w ₁	w ₂	w ₃	
w ₁	3	3	1	
w ₂	3	3	1	
w ₃	5	5	3	

Експерт № 3				
i \ j	w ₁	w ₂	w ₃	
w ₁	3	3	3	
w ₂	3	3	3	
w ₃	3	3	3	

Внесок кожного фактора в загальну стійкість будівлі оцінений експертом № 1 у вигляді наступного рангового ряду: $w_3 > w_1 > w_2$, де w_1 - вага екологічного чинника, w_2 - соціального і w_3 - економічного. Експерт № 2 в рівній мірі оцінив значимість екологічного та соціального факторів, при цьому економічний фактор визнаний більш значущим в порівнянні з іншими двома факторами. Експерт № 3 рівнозначно оцінив розглянуті групи факторів [21].

Розрахунок ваги факторів w_1 , w_2 , w_3 виконуються через виконання алгоритму вектору матриці математичних очікувань групових оцінок пар факторів стійкості [21].

Результатом розрахунку, приймається за групову оцінку ступеня впливу на стійкість будівлі кожного фактора вектор виду: $w = [0,314 \ 0,267 \ 0,419] T$, де 0,314 - вага економічної групи чинників в загальній стійкості будівлі; вага соціальної - $w_2 = 0,267$, екологічної - $w_3 = 0,419$ [26].

Для факторів екологічної, економічної та соціальної груп запропоновані показники, що найбільш повно розкривають зміст цих факторів, в кількості 6 показників для оцінки стійкості будівельного об'єкта і території забудови на етапі переходу будівельної галузі на стандарти сталого розвитку (Таблиця 7).

В Додатку Б наведено наочне представлення результатів дослідження.

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Таблиця 7. Групи факторів та показників стійкості будівельного об'єкту

фактори стійкості	екологічні	соціальні	економічні
(I) вага фактора	$w_1 = 0.419$	$w_2 = 0.267$	$w_3 = 0.314$
показники стійкості (X_{ij})	енергозбереження та енергоефективність X_{11}	формування безпечного середовища для життєдіяльності людини X_{21}	зниження експлуатаційних витрат X_{31}
	застосування альтернативних джерел енергії X_{12}	забезпечення внутрішньої комфортності будівель X_{22}	показник ефективності енергозберігаючих заходів з урахуванням тарифів на енергію X_{32}
	скорочення викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище X_{13}	облік принципів ергономічності при проектуванні будівлі X_{23}	показник порівняльної ефективності енергозбереження X_{33}

фактори стійкості (i)	екологічні	соціальні	економічні
показники стійкості (X_{ij})	раціональне водокористування X_{14}	Доступність об'єкту і умови життєзабезпечення для МГН X_{24}	чистий дисконтований дохід X_{34}
	Способи поводження з відходами X_{15}		
	застосування матеріалів і виробів, що мають екологічний сертифікат відповідності X_{16}	відеоєкологія, поліпшення візуальної середовища міста X_{25}	Термін окупності X_{35}
		Послуги із благоустрою й озеленення прилеглої території X_{26}	Внутрішня норма прибутковості X_{36}

Наведені показники, були розроблені на основі аналізу чинних рейтингових систем оцінки «зелених» будівель, вивчення сучасних тенденцій і проблем в галузі сталого розвитку, створення комфортної внутрішньої і зовнішньої середовища проживання людини. Число показників в кожній групі чинників обмежена і дорівнює 6, що відповідає вимогам, пред'являються методом експертних оцінок до кількості оцінюваних параметрів, а саме: не менше 4 і не більше 7 (так як менша кількість показників веде до інформаційної недостатності, а більше – до відсутності чіткого розуміння результату) [34].

До кожного показника приводимо шкалу оцінок.

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Таблиця 8. Виразність показників екологічної групи факторів [26]

п / п	критерію стійкості	характеристика показника	показника	
1	енергозбереження та енергоефективність X_{11}	клас енергоефективності будівлі	A ++	$X_{11} = 1$
			A +	$X_{11} = 0,75$
			A	$X_{11} = 0,50$
			B	$X_{11} = 0,25$
			3	$X_{11} = 0$
2	застосування альтернативних джерел енергії X_{12}	Частка альтернативних джерел енергії в загальному енергоспоживанні будівлі	> 20%	$X_{12} = 1$
			11-20%	$X_{12} = 0,66$
			1-10%	$X_{12} = 0,33$
			0%	$X_{12} = 0$
3	скорочення викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище X_{13}	Відсоток зниження викидів шкідливих речовин	> 40%	$X_{13} = 1$
			16-40%	$X_{13} = 0,66$
			1-15%	$X_{13} = 0,33$
			0%	$X_{13} = 0$
4	раціональне водокористування X_{14}	Передбачено збір дощової води для господарського водопостачання	да	$X_{14}' = 0,5$
			немає	$X_{14}' = 0$
		Зниження споживання питної води	> 30%	$X_{14}'' = 0,5$
			на 10-30%	$X_{14}'' = 0,25$
5	Способи поводження з відходами X_{15}	Впровадження технологій використання відходів в якості вторинної сировини	да	$X_{15}' = 0,4$
			немає	$X_{15}' = 0$
		Підвищення рівня екологічної культури населення для зменшення кількості відходів	да	$X_{15}'' = 0,3$
			немає	$X_{15}'' = 0$
		Впровадження системи роздільного збору відходів	да	$X_{15}''' = 0,3$
			немає	$X_{15}''' = 0$
6	застосування матеріалів і виробів, мають екологічний сертифікат відповідності X_{16}	наявність екологічного сертифіката на застосовувану продукцію	є на всю продукцію	$X_{16} = 1$
			є на частина продукції	$X_{16} = 0,5$
			немає	$X_{16} = 0$

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Таблиця 9. Виразність показників соціальної групи факторів [26]

№ п / п	Найменування показника стійкості	характеристика показника	значення показника	бали
1	формування безпечного середовища для життєдіяльності людини X_{21}	Якість повітря всередині приміщень	висока	$X_{21}^I = 0,4$
			середня	$X_{21}^{II} = 0,2$
			низька	$X_{21}^{III} = 0$
		Рівень захисту будівлі, житлових територій від шуму	високий	$X_{21}^{IV} = 0,3$
			середній	$X_{21}^{V} = 0,15$
			низький	$X_{21}^{VI} = 0$
Наявність в проекті / реалізація на практиці заходів щодо захисту будівлі від ЕМП	да	$X_{21}^{VII} = 0,3$		
	немає	$X_{21}^{VIII} = 0$		
2	забезпечення вимог внутрішньої комфортності будівель X_{22}	Орієнтація і об'ємно-планувальні рішення будівлі забезпечують достатній рівень інсоляції, зменшують несприятливий вплив вітру і сонячної радіації	да	$X_{22}^I = 0,2$
			немає	$X_{22}^{II} = 0$
		Рівень забезпечення оптимальних мікрокліматичних умов	високий	$X_{22}^{III} = 0,3$
			середній	$X_{22}^{IV} = 0,15$
низький	$X_{22}^{V} = 0$			
3	облік принципів ергономічності при проектуванні будівлі X_{23}	Проектування виконують в відповідно до можливостей органів почуттів, діяльності, розміру і поведінкою людей	да	$X_{23}^I = 1$
			немає	$X_{23}^{II} = 0$
4	Доступне середовище життєдіяльності для маломобільних груп населення (МГН) X_{24}	передбачені умови безперешкодного і зручного пересування, безпечної життєдіяльності МГН	да	$X_{24}^I = 1$
			немає	$X_{24}^{II} = 0$
5	відеоєкологія, поліпшення візуальної середовища міста X_{25}	Гармонійність архітектурних рішень будівлі по кольором, формою, структурою елементів існуючої забудові		$X_{25}^I = 0,5$
				$X_{25}^{II} = 0,25$
				$X_{25}^{III} = 0$
		Наявність різноманітних зорових елементів будівлі, що усунувають	да	$X_{25}^{IV} = 0,5$
немає	$X_{25}^{V} = 0$			
6	Послуги із благоустрою й озеленення прилеглої території X_{26}	Рівень відповідності прийнятих рішень нормативним показникам в частині забезпечення соціально побутового, інженерного і зовнішнього благоустрою	високий	$X_{26}^I = 1$
			середній	$X_{26}^{II} = 0,5$
			низький	$X_{26}^{III} = 0$
		монотонність і безливість міського середовища		

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Таблиця 10. Виразність показників економічної групи факторів [26]

№ п / п	Найменування показника стійкості	характеристика показника	значення показника	вага критерію
1	зниження експлуатаційних витрат X_{31}	експлуатаційні витрати зменшені по порівняно зі звичайним будівлею на	$> 60\%$	$X_{31} = 1$
			41-60%	$X_{31} = 0,75$
			21-40%	$X_{31} = 0,5$
			1-20%	$X_{31} = 0,25$
			0%	$X_{31} = 0$
2	Показник ефективності енергозберігаючих заходів з урахуванням тарифів на енергію (d) X_{32}		$d > 0$	$X_{32} = 1$
			$d = 0$	$X_{32} = 0,5$
			$d < 0$	$X_{32} = 0$
3	Показник порівняльної ефективності енергозбереження (E) X_{33}		$E = \max$	$X_{33} = 1$
			$\min < E < \max$	$X_{33} = 0,5$
			$E = \min$	$X_{33} = 0$
4	Чиста поточна вартість (ЧДД) X_{34}		ЧДД > 0	$X_{34} = 1$
			ЧДД $= 0$	$X_{34} = 0,5$
			ЧДД < 0	$X_{34} = 0$
5	Термін окупності X_{35}		$T_{ок}^{max} = \min$	$X_{35} = 1$
			$\min < T_{ок}^{max} < \max$	$X_{35} = 0,1-0,9$
			$T_{ок}^{max} = \max$	$X_{35} = 0$
6	Внутрішня норма прибутковості (IRR) X_{36}		$r < IRR$	$X_{36} = 1$
			$r = IRR$	$X_{36} = 0,5$
			$r > IRR$	$X_{36} = 0$

Показники наведені в таблиці 10 розраховуються за наступними формулами з таблиці 11:

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

Таблиця 11. Порівняльна таблиця показників економічної ефективності енергозберігаючих проектів

Найменування показника	фізичний сенс	Формула розрахунку	Область застосування	недоліки	критерій прийнятності
чистий дискontований дохід (ЧДД)	показує загальний розмір реальної прибутку, яку принесе проект за весь свій термін існування	$ЧДД = \sum_{t=0}^n (-Z) \cdot \frac{1}{(1+r)^t} - K$, (Б.3) де R_t - приплив грошових коштів в період t ; Z_t - витрати на t -кроку; $\frac{1}{(1+r)^t}$ - коефіцієнт дисконтування; r - норма прибутковості, прийнята для інвестора (ставка дисконтування); K - обсяг первинних інвестицій	Для оцінки проектів з мінливими потоками надходжень грошових коштів, а також проектів з додатковими інвестиціями протягом періоду їх життєвого циклу		Якщо $ЧДД > 0$, то проект реалізується. якщо $ЧДД < 0$, реалізація проекту принесе збитки. $ЧДД = 0$ - проект має сенс при умови, що його реалізація дасть інвестору інші НЕ грошові вигоди. Чим більше ЧДД, тим ефективніше проект.
простий термін окупності ($T_{ок}$)	показує час, необхідну для відшкодування первинних витрат	$T_{ок} = \frac{K}{CF}$, (Б.1) де $T_{ок}$ - простий термін окупності капіталовкладень; K - обсяг первинних інвестицій; CF - середньорічна вартість грошових надходжень від реалізації проекту	для порівняння альтернативних енергозберігаючих рішень, мають однаковий термін служби. передбачається разове вкладення початкових інвестицій.	Чи не враховує зміна вартості грошей у часу. Чи не визначає розмір грошових потоків після точки окупності. Не може бути використаний при знакозмінних грошових потоках	$T_{ок} \rightarrow \min$ (чим менше термін окупності, тим краще проект)
дискontований термін окупності ($T_{ок}^{диск}$)	показує час, необхідну для відшкодування первинних витрат з урахуванням зміни вартості грошей у часі	$T_{ок}^{диск} = \sum_{t=0}^n \frac{1}{(1+r)^t} \geq K$, (Б.2) де n - число періодів реалізації проекту; CF_t - приплив грошових коштів в період t ; r - ставка дисконтування; K - обсяг первинних інвестицій	Для оцінки проектів з мінливими потоками надходжень грошових коштів, а також проектів з додатковими інвестиціями протягом періоду їх життєвого циклу	Чи не визначає розмір грошових потоків після точки окупності	$T_{ок}^{диск} \rightarrow \min$ (чим менше термін окупності, тим краще проект)
Найменування показника ефективності енергозберігаючих заходів з урахуванням тарифів на енергію (d)	характеризує співвідношення вартості збереженої енергії і витрат на реалізацію заходів	$d = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{\Delta E_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$, (Б.5) де ΔE_t - обсяг енергії, закономілений в t -му році; r - ставка дисконтування; T - життєвий цикл проекту; I_t - обсяг капіталовкладень в t -му році; $Про_t$ - експлуатаційні витрати в t -му році; C_t - величина тарифу на енергію [88].			Якщо $d > 0$, проект ефективний. Якщо $d < 0$, проект неефективний. При $d = 0$ досягається мінімально допустима ефективність проекту. Якщо $C_t = \text{Const}$ $\sum_{t=0}^n \frac{\Delta E_t}{(1+r)^t} > \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$, проект неефективний
Рівень (індекс) рентабельності інвестицій ($PI_{д}$)	ставлення суми всіх дискontованих грошових потоків до дискontованого інвестиційному витраті. характеризує рентабельність проекту - ступінь ефективності використання грошових ресурсів по проекту.	$PI_{д} = \frac{ЧДД}{K}$, (Б.6) де $PI_{д}$ - індекс (показник) рентабельності інвестицій; ЧДД - чистий дискontований дохід; K - капітальні вкладення,	є додатковим критерієм ефективності енергозберігаючого проекту	Не можна порівнювати проекти різної тривалості.	Якщо $PI_{д} > 1$, то проект приймається до реалізації, при $PI_{д} < 1$ - проект слід відкинути. При $PI_{д} = 1$ проект є ні прибутковим, ні збитковим і для прийняття рішення по реалізації енергозберігаючого проекту, його слід оцінити за іншими показниками.

Продовження таблиці 11.

Найменування показника	фізичний сенс	Формула розрахунку	Область застосування	недоліки	критерій прийнятності
Внутрішня норма прибутковості (Рентабельності) (ВНД або IRR)	така величина норми дисконту, при якій ЧДД = 0.	$-K + \sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1-IRR)^t} = 0, (B.7)$ де K - початкові капіталовкладення; R _t - отримується економія енергії в вартісному вираженні в t-му році; T - життєвий цикл проекту при нормі дисконту r	для знаходження граничного значення норми дисконту; розділяє інвестиції на прийнятні і невідповідні. вибір кращого проекту проводиться за критерієм ЧДД, а рішення про участь в такому проекті приймається на основі ВНД. Порівняння ВНД з нормою дисконту дозволяє оцінити запас міцності проекту.	Чи не враховує рівень реінвестицій. Чи не показує результат інвестиції в абсолютному значенні. при знакозмінних потоках висока ймовірність помилок в розрахунках цього показника	Якщо r < IRR, то проект ефективний. Якщо r > IRR, то проект неефективний. Чим r << IRR, тим стійкішим проект
показник порівняльної ефективності енергозбереження (E)		$E = E_{\text{з}} / \Delta C, (B.8)$ де E _з - обсяг зекономленої енергії на опалення будівлі за опалювальний період, Гкал або кВт · год; ΔC - додаткові витрати, пов'язані з підвищенням теплового захисту будівлі, руб. [59]	для післяінвестиційного аналізу економічної ефективності реалізованих проектів, спрямованих на економію теплової енергії на опалення. дозволяє провести аналіз помилок і тим самим поліпшити оцінку подальших інвестиційних проектів	Чи не враховує дисконтування і зміна тарифів на теплову енергію	E → max оптимальна ефективність енергозбереження досягається, коли відношення економії енергії на опалення будівлі до витрат на його додаткову теплозахист має максимально можливе значення

Залежно від отриманого значення Су_{ст} пропонується класифікувати ступінь стійкість будівельного об'єкта за такими категоріями, як: висока, середня, низька і дуже низька стійкість відповідно до шкали, представлені в таблиці 12.

Таблиця 12. Класифікація ступеня стійкості будівлі [26]

Ступінь стійкості будівлі	інтервал значень показника стійкості об'єкта, бал
висока	421-570
середня	281-420
низька	141-280
дуже низька	0-140

Відповідно до запропонованої методики, значення інтегрального показника стійкості будівлі, рівне 141 балу (S_{ст min} = 141), прийнято в якості мінімально допустимого рівня, при якому варіант ресурсозберігаючих проектних рішень допускається до подальшого розгляду та оцінки [26]. При отриманні підсумкового бала нижче 141 рекомендується виключити проект з подальшого розгляду або направити його на доопрацювання (включити до складу проекту додаткові заходи щодо підвищення його стійкості) [21].

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

ЛІТЕРАТУРА

1. Рябініна Ю.С., Цифра Т.Ю. Енергозберігаючі віконні системи: види розвитку, порівняння та перспективи / Рябініна Ю.С., Цифра Т.Ю. // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин: Збірник наукових праць. – 2020. - № 46.
2. Лобовку, А. В. Енергозберігаючі віконні системи: стан, тенденції та перспективи / А. В. Лобовку. - Текст: безпосередній // Молодий вчений. - 2018. - № 18 (204). - С. 75-80. - URL: <https://moluch.ru/archive/204/49863/>
3. М. Лапа, М. Двоєглазова, І. Печонкін, Ю. Лапа. Забезпечення енергоефективності будівель / М. Лапа, М. Двоєглазова, І. Печонкін, Ю. Лапа // Технічні науки та технології. 2017. № 1 (7). С. 225–233.
4. А.Е. Донцова, А.В. Калинина. Стекло с управляемой прозрачностью (smart window) в гражданском строительстве / А.Е. Донцова, А.В. Калинина // Alfabuild. 2018. № 4. С.73-82.
5. Електронна науково-технічна база з питань енергосбереження, інвестиційних і інноваційних проектів.
6. Steve DeBusk. A Review and Examination of EnerLogic™ Window Film Performance Claims. / 8p. //http:// www.luxivision.dk/assets/EnerLogic-White-Paper
7. Solutia Launches Industry-Changing EnerLogicR /70 Low-E Window Film. Jan.25,2012// http://www.eastman.com/Company/About_Eastman/History/2012/Pages/Solutia_Launches_Industry_Changing_EnerLogic_70Low_EWindow_Film.aspx
8. М. Агаджанов. КПД частично прозрачных окон с солнечными батареями превысил 11% / М.Агаджанов / Хабр. 2017. // <https://habr.com/ru/post/408789/>
9. Hui Huang et al. Solvothermal synthesis of Sb:SnO₂ nanoparticles and IR shielding coating for smart window / *Materials & Design* (2015). // DOI: [10.1016/j.matdes.2015.09.013](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.09.013)
- 10.Н. Авельсник. SolarWindow навчили звичайні вікна виробляти електроенергію // Хайтек. 2016. // https://hightech.fm/2016/09/02/solar_window
- 11.Jingwen Xu et al. "Electrochromic-Tuned Plasmonics for Photothermal Sterile Window." // *ACS Nano*. 2018 // DOI: [10.1021/acsnano.8b02292](https://doi.org/10.1021/acsnano.8b02292)

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	АВР	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

12. Joseph Murray et al. Electrically Controllable Light Trapping for Self-Powered Switchable Solar Windows // *ACS Photonics* (2016). // [DOI: 10.1021/acsp Photonics.6b00518](https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.6b00518)]
13. SolarGaps: жалюзі з сонячними батареями забезпечать квартиру безкоштовної електроенергією. / *Екотехніка*. 2016. // <https://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/1188-solargaps-zhalyuzi-s-solnechnymi-batareyami-obespechat-kvartiru-besplatnoj-elektroenergiej.html>]
14. Коваль О. В., Мурзін А. В., Наумець І. І. Застосування монохромного Смарт-скла при проектуванні закладів готельного господарства. // *Современная научная идея*. 2017. - 7с. // www.sworld.com.ua.
15. Закируллин Р. С. Перспективы применения Смарт — окон в архитектуре и строительстве. - 8с. // <http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/1105/1/368-375.pdf>]
16. Ruben Baetens, Bjorn Petter Jelle, Arild Gustavsen. Properties, Requirements and Possibilities of Smart Windows for Dynamic Daylight and Solar Energy Control in Buildings // *State-of-the-Art*. 2010. 29 p. // <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2436360/Properties+Requirements+and+Possibilities+of+Smart+Windows+for+Dynamic+Daylight+and+Solar+Energy+Control+in+Buildings++State-of-the-Art+-+Article+-+Submitted+Version.pdf?sequence=3>]
17. Marco Casini. Smart windows for energy efficiency of buildings. 2017. p.273-281. <https://afterglass.ca/wp-content/uploads/2017/08/energy-report.pdf>]
18. Показники ефективності енергозберігаючих заходів [Електронний ресурс] // Блог енергетика по опаленню, вентиляції та кондиціонування - Енергозбереження. 2011. - Режим доступу: <http://enginerishka.ru/energoberezhenie/pokazateli-effektivnosti-energoberegayushhix-meropriyatij.html>
19. Шеїна, С.Г. Аналіз особливостей застосування методу оцінки вартості життєвого циклу будівель в Росії і за кордоном / С. Г. Шеїна, Е. О. Миргородська, Е. М. Міненко // *Будівництво та техногенна безпека*. - 2015. - № 1 (53). - С. 76-80.
20. Міненко Е.М. Розробка алгоритму вибору енергоефективних рішень у будівництві [Електронний ресурс] / С. Г. Шеїна, Е. М. Міненко // *Інженерний вісник Дона: електро. журн.* - 2012. - № 4 (Ч. 1). - Режим доступу: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/133.pdf_1099.pdf

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

21. Міненко Е.М. Розробка теоритичних і методичних основ енергоресурсозбереження в житловому будівництві / С. Г. Шеїна, Е. М. Міненко. 2018.
22. Овсянников, С. М. Оцінка енергоефективності світлопрозорих конструкцій / С.М. Овсянников, Е. Ю. Подерні // Інвестиції, будівництво, нерухомість як матеріальний базис модернізації та інноваційного розвитку економіки: матер. VI міжнар. наук.-практич. конф. - Томськ: Изд-во Томського держ. арх-буд. унів-та, 2016. - С. 481-484.
23. Самарін, О. Д. Про методику оцінки енергоефективності будівель [Електронний ресурс] / О. Д. Самарін // Екологічні системи: електронний журнал енергосервісної компанії. - 2008. - № 4. - Режим доступу: http://esco-ecosys.narod.ru/2008_4/art156.htm
24. Методика розрахунку життєвого циклу будівлі в урахуванням вартості сукупних витрат. – М: Національне об'єднання проектувальників, 2014.-72с..
25. Scheuer, C.W. Evaluation of LEEDTM Using Life Cycle Assessment Methods / C.W. Scheuer, G.A. Keoleian. – Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2002. – 157 p.
26. Шеїна, С.Г. Оцінка стійкості, що досягається будівлею за рахунок реалізації енергоресурсозберігаючих рішень [Електронний ресурс] / С. Г. Шеїна, Е. Н. Міненко // Інженерний вісник Дона: електрон. журн. - 2017. - № 4. - Режим доступу: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2017/4398>
27. В. І. Ливчак. Уточнення таблиць базового і нормованого по роках будівництва показників енергоефективності житлових та громадських будівель [Електронний ресурс] / В. І. Ливчак. // Енергозбереження: електрон.журн. – 2014. - № 1. – Режим доступу https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5719
28. Шеїна, С. Г. Методика вибору енергоресурсозберігаючих рішень на етапі експлуатації житлових будинків / С. Г. Шеїна, Е. Н. Міненко // Бюлетень будівельної техніки. - 2017. - № 6. - С. 54-55.
29. Вартість віконного блоку двокамерного за квадратний метр, вартість монтажних робіт // <http://okna-kalashnikova.com.ua/steklopaketi/steklopaketi-dvuhkamernie-stoimost-za-kvadratnij-metr.html>
30. Вартість метру квадратного електрохромних вікон /Скло зі змінною прозорістю: особливості, переваги, застосування // <https://www.fabrikaokon.ru/styokla-s-izmenyaemoj-prozrachnostyu.html>

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

- 31.Вартість метру квадратного теплопоглинаючого скла, що виробляє електроенергію // <https://m.russian.alibaba.com/amp/p-detail/60515833568.html>
- 32.Glazette. Liquid crystal Glass. / Greenglasswonder, 2009 // <http://greenglasswonders.blogspot.com/2009/11/liquid-crystal-glass.html>
- 33.Шабаева, Ю. І. Групова експертна оцінка значимості факторів на основі використання методу парного порівняння [Електронний ресурс] / Ю. І. Шабаева // Інженерний вісник Дона: електрон. журн. - 2014. - № 4. - Режим доступу: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2691/>
- 34.Champ, P. A. WTA Estimates Using the Method of Paired Comparison: Tests of Robustness / P. A. Champ, J. B. Loomis // Environmental and Resource Economics. 1998. – № 12 (3). – pp. 175–186.
- 35.Технологічна карта. Технологическая карта на установку оконных блоков и балконных дверей из ПВХ, алюминиевых профилей и древесины, производства ООО «ОкнаДА» <http://www.okna-da.by/%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F-%D0%BA%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B0/#menu1>
- 36.Колобов А.В. Технологічна карта на влаштування віконних та дверних блоків в зовнішню стінову панель / Колобов А.В. // Проектно-конструкторський та технологічний інститут промислового будівництва ОАО ПКТИпромстрой. 2008. <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293826/4293826207.pdf>
- 37.Гетун Г.В. «Архітектура будівель і споруд. Основи проектування: Підручник. – К.: Кондор, - 2011 р.
- 38.Дисципліни цільової підготовки (ДЦП) кафедри «Економіка будівництва» Методичні вказівки до курсової роботи. /Уклад: К.В.Ізмайлова, - К. КНУБА, 2019, - 25 с.

Зм.	Кільк	Арк.	№	Підп.	Дата	<i>ABP</i>	Аркуш
Розробив							
Консульт.							

