

А. М. НЕКРИЛОВ

технік-монтажник

ORCID: 0009-0004-2605-619X

## ВИКОРИСТАННЯ НАХИЛЬНО-ЗСУВНОЇ ФУРНІТУРИ ПРИ ЗАСКЛЕННІ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Стаття досліджує переваги використання нахильно-зсувної фурнітури в системах скління житлових будівель з акцентом на підвищення енергоефективності, герметичності та конструктивної жорсткості порівняно з традиційними розсувними конструкціями. Мета дослідження полягає в обґрунтуванні конструктивних, тепло-технічних та експлуатаційних переваг нахильно-зсувної фурнітури для засклення житлових об'єктів, а також у визначенні оптимальних технічних рішень для забезпечення високої енергоефективності та довговічності. Методологія базується на інтегрованому підході, що поєднує розрахунково-аналітичні, графоаналітичні та експериментальні методи, з використанням нормативних документів в будівництві. Отримані наукові результати демонструють, що нахильно-зсувна фурнітура забезпечує щільне притискання стулок по периметру, підвищуючи значення індексу звукоізоляції  $R_w$  до 40 дБ, що перевершує традиційні розсувні системи зі щітковими ущільнювачами (0,45-0,55 м<sup>2</sup>·°C/Вт та 24-27 дБ). Визначено можливості інтеграції стулок масою до 300 кг у великогабаритні прорізи (до 3500×3500 мм) з мінімальними деформаціями (прогин імпоста до 8-10 мм) за рахунок триточкової системи кріплення та компенсації температурних розширень (до 15 мм при  $\Delta T=60^\circ\text{C}$ ). Порівняльний аналіз варіантів конструкції (монолітна та двосекційна з міні-з'єднувачем) виявив оптимальну жорсткість (момент інерції до  $2,3 \cdot 10^5$  мм) та зменшення теплових втрат через термопрокладки ( $\psi \leq 0,05$  Вт/м).

Практична цінність дослідження полягає в розробці рекомендацій для проектування та монтажу енергоефективних віконних систем у житловому будівництві, що дозволить мінімізувати рівень тепловтрат, покращити акустичний комфорт та реалізувати панорамне скління без порушення будівельних норм. Запропоновані схеми кріплення сприяють оптимізації витрат на опалення та кондиціонування, а також підвищують експлуатаційний ресурс конструкцій. Перспективи подальших досліджень включають інтеграцію нахильно-зсувної фурнітури з технологіями «інтелектуального будинку», автоматизацію процесів відчинення та впровадження інноваційних ущільнювальних композитів для посилення безпекових параметрів.

**Ключові слова:** нахильно-зсувна фурнітура, енергоефективність, скління, віконні системи, теплотехнічний розрахунок, конструктивна жорсткість.

А. М. NEKRYLOV

Technician-Installer

ORCID: 0009-0004-2605-619X

## USE OF TILT-AND-SLIDE FITTINGS IN THE GLAZING OF RESIDENTIAL BUILDINGS

The article explores the advantages of using tilt-and-slide fittings in residential glazing systems, with an emphasis on improving energy efficiency, airtightness, and structural rigidity compared to traditional sliding designs. The purpose of the study is to substantiate the structural, thermal, and operational advantages of tilt-and-slide fittings for glazing residential buildings, as well as to determine the optimal technical solutions to ensure high energy efficiency and durability. The methodology is based on an integrated approach that combines computational, analytical, graphical, and experimental methods, using regulatory documents in construction. The scientific results obtained demonstrate that tilt-and-slide fittings ensure a tight seal around the perimeter of the sashes, increasing the sound insulation index  $R_w$  to 40 dB, which surpasses traditional sliding systems with brush seals (0.45-0.55 m<sup>2</sup>·°C/W and 24-27 dB). It has been determined that sashes weighing up to 300 kg can be integrated into large openings (up to 3500×3500 mm) with minimal deformation (impost deflection up to 8-10 mm) due to a three-point fastening system and compensation for thermal expansion (up to 15 mm at  $\Delta T=60^\circ\text{C}$ ). A comparative analysis of design options (monolithic and two-section with a mini-connector) revealed optimal rigidity (moment of inertia up to  $2.3 \cdot 10^5$  mm) and reduced heat loss through thermal spacers ( $\psi \leq 0.05$  W/m).

The practical value of the study lies in the development of recommendations for the design and installation of energy-efficient window systems in residential construction, which will minimize heat loss, improve acoustic comfort, and implement panoramic glazing without violating building codes. The proposed mounting schemes contribute to the optimization of heating and air conditioning costs, as well as increase the service life of structures. Prospects for further

research include the integration of tilt-and-slide fittings with “smart home” technologies, the automation of opening processes, and the introduction of innovative sealing composites to enhance safety parameters.

**Key words:** tilt-and-slide hardware, energy efficiency, glazing, window systems, thermal calculation, structural rigidity.

### Постановка проблеми

Сучасне житлове будівництво дедалі більше орієнтується на поєднання архітектурної естетики, функціональної гнучкості та енергоефективності огорожувальних конструкцій. У цьому контексті особливої уваги заслуговує використання нахильно-зсувної фурнітури, яка стала одним із найперспективніших рішень у сфері світлопрозорих систем. На відміну від традиційних механізмів, така фурнітура забезпечує комбінований режим відкривання стулки, з можливістю нахилу для мікропровітрювання та зсуву для повного відкривання отвору, що дозволяє оптимізувати простір та підвищити ергономічність інтер'єру без втрати герметичності.

Основним технічним завданням при проектуванні і монтажі нахильно-зсувних систем є забезпечення надійного кріплення та точного позиціонування елементів фурнітури. Це пов'язано з високими експлуатаційними навантаженнями, оскільки маса стулки у великих панорамних системах може сягати 200-300 кг, а механізм відкривання має гарантувати плавний рух без деформацій і перекосів. Ключову роль у цьому відіграють напрямні, опорні ролики, анкерні з'єднання та система регулювальних вузлів, що мають забезпечити рівномірний розподіл навантаження між точками фіксації.

Увагу прикуто і до питання вибору матеріалів і технологічних рішень: застосування армованих профілів, терморозривів, високоточного свердління отворів та дотримання моментів затягування кріпильних гвинтів відповідно до технічних регламентів виробників. Неправильне кріплення чи відхилення від монтажних параметрів може призвести до розгерметизації вузлів, зниження звукоізоляції або навіть до руйнування рухомих елементів.

Таким чином, дослідження технічних особливостей, методів кріплення і монтажних принципів нахильно-зсувної фурнітури при закладенні житлових будівель має важливе значення для підвищення довговічності, надійності та енергоефективності сучасних віконних систем, що відповідають вимогам європейських стандартів і норм ДБН.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У науковому дискурсі акцент робиться на тому, що нахильно-зсувна фурнітура належить до критичних конструктивних компонентів, які детермінують функціональні характеристики, параметри герметичності та експлуатаційний ресурс світлопрозорих систем житлових об'єктів. Відповідно до напрацювань [12], [23], масштабне застосування цих механізмів зумовлене необхідністю інтеграції енергоефективності, ергономічності використання та архітектурної варіативності. Науковими працями [15], [25] обґрунтовується, що нахильно-зсувні системи забезпечують раціональну організацію природної вентиляції приміщень при одночасній мінімізації теплових втрат та посиленні безпекових параметрів конструкцій. Аналітичний огляд публікацій [1], [19] демонструє, що застосування сучасних матеріалів і монтажних технологій, нормованих актуальними положеннями ДБН та ДСТУ, забезпечує досягнення високого рівня герметичності з'єднань і покращення акустичних характеристик віконних блоків. Результати досліджень [14], [18] підтверджують, що комбінування фурнітури з металопластиковими склопакетами і профільними системами суттєво оптимізує експлуатаційні показники будівельних об'єктів. Актуальні напрями розвитку, виокремлені [11], [20], охоплюють автоматизацію процесів відчинення, конвергенцію з технологіями «інтелектуального будинку» та впровадження інноваційних ущільнювальних композитів. Узагальнюючи, нахильно-зсувна фурнітура постає як значущий елемент технологічної модернізації фасадних і віконних систем у сфері житлового будівництва.

### Формулювання мети дослідження

Мета статті – дослідити конструктивні, теплотехнічні та експлуатаційні переваги від інсталяції нахильно-зсувної фурнітури при закладенні житлових будівель, а також визначення оптимальних технічних рішень для забезпечення високої енергоефективності, герметичності та довговічності віконних конструкцій.

Дослідження ґрунтується на сучасних конструктивно-технологічних рішеннях та нормативних вимогах до віконних і фасадних систем, зокрема регламентаціях ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель» [2], ДБН В.2.6-22:2001 «Вікна та двері. Правила проектування та монтажу» [3], а також європейських стандартах EN 1026:2016 та EN 12207:2016, які встановлюють класифікацію повітропроникності та методики випробування герметичності віконних конструкцій [26]. Емпіричну базу складають експериментальні дослідження та аналітичні моделі механічної поведінки великогабаритних стулок з нахильно-зсувними фурнітурними системами під впливом вітрових, термічних та монтажних навантажень.

Методологія побудована на інтегрованому підході, що синтезував розрахунково-аналітичні, графоаналітичні та експериментальні методи дослідження. Для визначення напружено-деформованого стану конструктивних елементів застосовано метод скінченних елементів (FEM), який забезпечив моделювання розподілу навантажень у триточковій системі фіксації стулки з масою до 300 кг. Теплотехнічний аналіз здійснено шляхом розрахунку коефіцієнтів теплопередачі та побудови ізотермічних полів у спеціалізованих програмних комплексах *Therm* та

*Flixo Energy*. Верифікація отриманих результатів проведена шляхом порівняння з нормативними параметрами класів повітропроникності, теплозахисту та граничних деформацій, визначених ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010, що підтверджує достовірність наукових висновків та практичну застосовність розроблених рекомендацій для сучасного житлового будівництва [7].

#### Викладення основного матеріалу дослідження

В практиці будівельного проектування та при зведенні житлових і громадських споруд віконні системи розглядаються не лише як елементи архітектурного оздоблення, але й як головні компоненти енергоефективності, мікроклімату та акустичного комфорту приміщення. Одним із найбільш поширених рішень, що активно використовувалися упродовж останніх десятиліть, є класичні розсувні системи зі щітковими ущільнювачами, конструктивна простота яких поєднується з достатньою функціональністю для експлуатації у помірному кліматичному поясі. Проте сучасні вимоги до енергоощадності будівель, які регламентуються національними стандартами (ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель» [2]), і європейськими нормами (EN ISO 10077-1, EN ISO 12567-2) [26], проявили відчутні недоліки з точки зору: повітропроникності, теплотехнічної однорідності та стабільності експлуатаційних характеристик у динамічних навантаженнях.

Класичні розсувні системи характеризуються наявністю двох або більше рухомих стулок, що переміщуються по горизонтальних напрямних за допомогою роликів опор, при цьому ущільнення між стулкою та рамою здійснюється переважно щітковим (текстильним) профілем із поліамідного або поліпропіленового волокна. Ущільнювачі виконують роль бар'єра від пилу та частково від проникнення повітря, однак не створюють герметичного замикання, що призводить до значних тепловтрат у холодний період року та зниження коефіцієнта опору теплопередачі. З огляду на це, у практиці проектування подібні варіанти систем все частіше замінюються комбінованими рішеннями з контурними еластомерними ущільненнями або нахильно-зсувною фурнітурою, які реально можуть забезпечити щільне притискання стулки до рами по всьому її периметру.

Крім того, відповідно до ДСТУ Б В.2.6-23:2009 «Конструкції будинків і споруд. Вікна та двері. Загальні технічні умови», віконні системи мають давати не лише нормативний рівень теплозахисту, але й тримати стабільність параметрів при циклічних впливах температури, вологості й вітрових навантажень [6]. Щіткові ущільнювачі, за таких умов, демонструють поступове зниження еластичності ворсу, осідання та забруднення, що призводить до утворення щілин у місцях з'єднання стулок і, як наслідок, до зростання витрат енергії на опалення або кондиціонування. У системах з контурним ущільненням, навпаки, використовується термоеластомер (EPDM, TPE або силікон), який не лише витримує багаторазові цикли деформацій, але й здатен зберігати герметичність при температурних коливаннях від  $-40$  до  $+80$  °С, що є вкрай необхідним для експлуатації в кліматичних умовах України.

Окремий фокус отримало питання акустичної ізоляції. Класичні розсувні системи з щітковими ущільнювачами мають знижений індекс ізоляції повітряного шуму ( $R_w$ ), який у середньому становить 24-27 дБ, тоді як для сучасних житлових будівель нормативні вимоги ДБН В.1.1-31:2013 «Захист від шуму» передбачають мінімум 32 дБ для зовнішніх огорожувальних конструкцій [5]. Отже ми констатуємо, що навіть при використанні склопакетів із підвищеними звукоізоляційними властивостями повітряні щілини у місцях щіткового ущільнення нівелюють акустичний ефект. При таких даних нахильно-зсувна фурнітура, що забезпечує багатоточковий притиск, може підвищити рівень показника  $R_w$  до 40 дБ і вище, і наблизити всю систему до параметрів стаціонарних глухих вікон [10].

З точки зору монтажу та експлуатації, класичні розсувні системи зі щітковими ущільнювачами залишаються зручними у використанні завдяки простоті конструкції. Однак маємо зазначити, що їхній потенціал практично вичерпано у зв'язку з переходом будівельної галузі до стандартів енергоефективного будівництва, таких як ДБН В.2.6-79:2014 «Енергозбереження будівель» [4] та ДСТУ ISO 19467:2019 [8], що встановлюють вимоги до коефіцієнтів теплових потоків і мінімізації неконтрольованої інфільтрації. Системи зі щітковим ущільненням не відповідають вимогам до класу А за повітропроникністю, а їхня модернізація вимагає не тільки заміни всього ущільнювача, але й конструктивної переробки профільної системи для створення площинного притискання замість лінійного контакту [16].

Розвиток енергоефективного будівництва та динамічний попит на панорамні системи скління у житлових комплексах призвели до того, що сучасні архітектурні рішення дедалі частіше потребують застосування великогабаритних стулок, площа яких може перевищувати 5-6 м<sup>2</sup>, а маса може досягати 300 кг і більше. Вже ці параметри виходять за межі можливостей стандартних поворотно-відкидних систем, які розраховані на масу стулки до 130-150 кг, відповідно до технічних умов ДСТУ Б В.2.6-23:2009 «Конструкції будинків і споруд» [6]. Вікна та двері. Загальні технічні умови». Натомість використання нахильно-зсувної фурнітури, що забезпечує одночасно функції відкидання та паралельного переміщення стулки, формує дійсно нові можливості для архітекторів і конструкторів. Ці конструкційні рішення – новий шлях по створенню прозорих фасадів без вертикальних розділювальних елементів при умовах повного збереження високої герметичності, теплоізоляції та стійкості до вітрових навантажень (рис. 1).

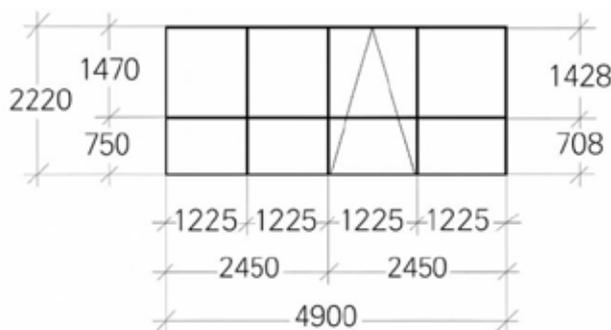


Рис. 1. Конструктивна схема віконного блоку з нахильно-зсувною стулкою та основними розмірами

Для обґрунтування доцільності використання нахильно-зсувної системи поставимо умови засклення віконного прорізу розміром  $3500 \times 3500$  мм, що відповідає площі понад  $12,25 \text{ м}^2$ . Для таких габаритів маса одинарної склопакетної секції з тришаровим склом (загальна товщина 40 мм, щільність скла  $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) може бути визначена за допомогою формули:

$$m = \rho \cdot A \cdot t \quad (1)$$

де:

$m$  – маса склопакета, кг;

$\rho$  – щільність скла,  $\text{кг/м}^3$ ;

$A$  – площа склопакета,  $\text{м}^2$ ;

$t$  – сумарна товщина скла, м.

Підставимо значення:

$$m = 2500 \times 12,25 \times 0,018 = 551,25 \text{ кг}.$$

Бачимо, що навіть без урахування профільної системи маса одного склопакета перевищує 550 кг, що є критичним показником для класичних металопластикових конструкцій. Саме тому проектування такого типу інженерних рішень буде можливим лише за умов використання комбінованих профілів (алюміній із термовставкою або сталеве армування ПВХ-профілю) і підсилених бетонних основ, які здатні сприймати вагу та динамічні навантаження без порушення геометрії отвору [13].

Зазначаємо що надані вище розрахунки стосуються триплексного скління номінальною товщиною  $6+6+6$  мм, тоді як у сучасній практиці житлового будівництва переважно застосовуються склопакетові конструкції типорозміру  $4+4+4$  мм із сумарною товщиною 12 мм. Водночас підкреслюємо, що зазначене масове навантаження є інтегральною характеристикою для повної площі віконного прорізу. У реальному конструктивному виконанні подібні системи не реалізуються як монолітний блок, а сегментуються на 4–6 автономних склопакетових одиниць, кожна з яких оснащена індивідуальною системою фіксації та фурнітурним забезпеченням.

Однією з головних проблем великоформатних систем стає їхнє лінійне температурне розширення профілів. Для ПВХ коефіцієнт лінійного розширення становить:

$$\alpha_{\text{ПВХ}} = 7 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}.$$

При добовому коливанні температури від  $-20$  до  $+40$   $^\circ\text{C}$  різниця складає  $60$   $^\circ\text{C}$ . Для довжини профілю  $L = 3500$  мм будемо мати:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T = 7 \times 10^{-5} \times 3500 \times 60 = 14,7 \text{ мм}.$$

Вигин або подовження профілю майже на 15 мм створить ризик втрати герметичності притворів, деформації склопакета і появи тріщин у зоні клейових швів [17]. Саме тому коли за проектом є великий отвір, застосовують металеві термопрофілі з низьким коефіцієнтом лінійного розширення та забезпечувати жорстке анкерне кріплення рами (а не імпоста) до несучих елементів будівлі. У розглянутій конфігурації горизонтальна залізобетонна балка над прорізом (наприклад, елемент монолітного пояса) використовується як точка опори для рами або для з'єднувального (стикового) профілю, що входить до складу рамного контуру. Анкерні пластини/кронштейни розміщують із регламентованим кроком, забезпечуючи передачу вертикальних і горизонтальних зусиль від ступок та скління безпосередньо на каркас споруди, при цьому імпост виконує лише функцію внутрішнього розподілу навантажень у межах системи. Це проектне рішення компенсує температурні деформації в межах рамного контуру, стабілізувати геометрію прорізу та знизити навантаження на нижній напрямний рейковий профіль, який у традиційних системах сприймає основну масу стулки [9].

У ДБН В.2.6-22:2001 «Вікна та двері. Правила проектування та монтажу» зазначено, що елементи віконних систем, які сприймають значне навантаження, повинні мати жорстке анкерне кріплення з кроком не більше 600 мм-700мм по горизонталі. Для стулків масою до 300 кг рекомендовано використовувати сталеві монтажні анкери діаметром 8-10 мм, із глибиною закладення не менше 80 мм у бетонну основу (рис. 2). Таким чином, конструктивна схема передачі навантаження передбачає розподіл ваги стулки на три вузлові зони:

- 1) Нижня напрямна рейка (основне статичне навантаження);
- 2) Верхній імпост (допоміжне підвищення та стабілізація);
- 3) Опора на горизонтальну балку (зменшення прогину профілю).

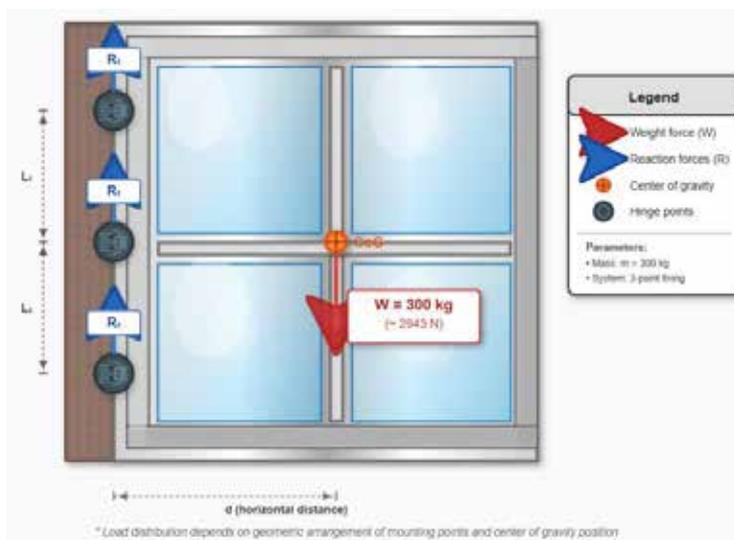


Рис. 2. Схема розподілу навантаження стулки масою 300 кг у триточковій системі кріплення

Перехід від класичної поворотно-відкидної системи до нахильно-зсувної змінює не лише технічну схему навантажень, але й архітектурну пластику фасаду. Якщо традиційне вікно вимагає статичних вертикальних членувань і обмеженої ширини створки (до 1600 мм), то зсувна система дозволяє реалізувати широкоформатні панелі з розміром однієї стулки до 2000-2500 мм без втрати герметичності. Ці рішення допомагають проектувальникам створювати фасади з горизонтальним ритмом та панорамним ефектом, що є необхідним у сучасних енергоефективних житлових комплексах, де природне освітлення стало це запорука комфорту. Для порівняння наведемо табл. 1, у якій показані типові граничні параметри різних систем.

Таблиця 1

**Порівняльні параметри систем фурнітури для житлового будівництва**

Тип фурнітури	Макс. маса стулки, кг	Макс. ширина стулки, мм	Коефіцієнт повітропроникності (EN 12207)	Сфера застосування
Поворотно-відкидна	130	1600	Клас 4	Стандартні вікна
Паралельно-зсувна	180	2000	Клас 4	Балконні двері
Нахильно-зсувна	300	2500	Клас 4	Панорамні системи
Розсувна з щітковим ущільненням	120	2000	Клас 2	Лоджії, тераси

При монтажі великогабаритних конструкцій точність геометрії є критичною умовою збереження функціональності системи. Згідно з вимогами ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010 «Настанова з проектування і монтажу світлопрозорих конструкцій», відхилення вертикалі для прорізів шириною понад 2500 мм не повинно перевищувати  $\pm 1,5$  мм/м висоти, а загальне відхилення по діагоналі – не більше 3 мм [7]. Якщо проріз має значні нерівності, це призводить до перекосу напрямних рейок, унаслідок чого стулка масою 250-300 кг при зсуві створює нерівномірне навантаження на нижній роликовий вузол, що може викликати локальне руйнування профілю. Для запобігання цьому у практиці монтажу слід використовувати лазерну перевірку площинності та компенсувальні підкладки з алюмінієвих або полімерних прокладок, товщиною 1-3 мм, які встановлюються під напрямними рейками. Додатково, для забезпечення стійкості до вітрових навантажень, у профільних системах з великою площею стулки необхідно застосовувати внутрішні підсилювачі із замкненого сталевого профілю перерізом 40×80×3 мм. Момент інерції елемента визначаємо за формулою:

$$I = \frac{(B \cdot H^3 - b \cdot h^3)}{12} \quad (3)$$

де:

$B$  і  $H$  – зовнішні розміри профілю,

$b$  і  $h$  – внутрішні розміри порожнини.

Для вказаних розмірів:

$$I = \frac{(80 \times 40^3 - 74 \times 34^3)}{12} = 3.62 \times 10^6 \text{ mm}$$

що дасть достатній рівень жорсткості для сприйняття згинального моменту до 150 Н·м без видимого прогину [22].

У разі наявності несучої горизонтальної балки, наприклад, залізобетонної перемички або сталевго ригеля, то конструкція може спиратися не безпосередньо через імпост, а через рамну систему, що виконує функцію передавання навантаження від стулоч і склопакетів на несучі елементи будівлі. У цій конфігурації імпост розглядається лише як допоміжний елемент, який забезпечує внутрішню стабільність конструкції, тоді як основні зусилля сприймає саме рама, закріплена анкерними елементами до несучої частини прорізу.

І тоді вертикальні навантаження від маси ступки  $G$  і горизонтальні реакції, що виникають при відкриванні або закриванні, розподіляються через контур рами, а не через імпост. Буде сформована статична схема, де опорна балка виконує роль точки передавання зусиль від рами, а напрямні профілі працюють лише на ковзання, зменшуючи ризик деформацій і підвищуючи довговічність системи. Такий підхід відповідає сучасним принципам монтажу нахильно-зсувних конструкцій і вимогам ДБН В.2.6-22:2001 щодо забезпечення жорсткості рамних вузлів.

Навантаження можна описати через систему рівнянь рівноваги:

$$\begin{cases} \sum F_y = 0 \Rightarrow R_1 + R_2 = G \\ \sum M_A = 0 \Rightarrow R_2 \cdot L = G \cdot \frac{L}{2} \end{cases} \quad (4)$$

де:

$R_1, R_2$  – реакції опор нижнього напрямного профілю;

$L$  – довжина ступки;

$$G = m \cdot g = 300 \cdot 9.81 = 2943 \text{ H}. \quad (5)$$

І тоді, кожна з нижніх опор сприймає навантаження приблизно  $R_1 = R_2 = 1470 \text{ H}$ , що вимагає використання роликових вузлів із допустимим навантаженням не менше 150 кг на ролик. Для забезпечення жорсткості каркаса застосовується ПВХ профіль з армуванням 2 мм, або порожній алюмінієвий профіль (наприклад, 40×60×3 мм), що підвищить момент інерції елемента в зоні прогину до:

$$I = \frac{(B \cdot H^3 - b \cdot h^3)}{12} = \frac{(60 \cdot 40^3 - 54 \cdot 34^3)}{12} = 2.8 \times 10^6 \text{ mm}$$

Цей фактор обмежить прогин імпоста величиною  $f \leq \frac{L}{300}$  тобто не більше 8-10 мм при ширині 3000 мм, що буде у відповідності до вимог ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010. Переваги цього варіанту:

- висока жорсткість конструкції завдяки триточковій схемі кріплення;
- можливість використання некаленого скла з товщиною 6-8 мм, оскільки ризик термічних деформацій мінімізується;

- зниження вартості за рахунок спрощення складання профільної системи.

Недоліки: складність монтажу через потребу у високоточному суміщенні отвору з напрямними балками та анкерами; додаткові вимоги до геометрії прорізу (допуск не більше  $\pm 1,5$  мм/м) [21].

Варіант 2. Для нахильно-зсувних систем, що застосовуються у великоформатному склінні, конструкція виконується як єдина суцільна рама, у якій усі елементи працюють у складі монолітного замкненого контуру. Відсутність стикових зон усуває локальні послаблення жорсткості, полегшує герметизацію та зменшує ризики деформацій під дією експлуатаційних і вітрових навантажень.

У традиційних рішеннях виступи з'єднувальних профілів 20-30 мм могли формувати технічні зазори між віконним блоком і несучою частиною фасаду, що ускладнювало герметизацію (рис. 3).

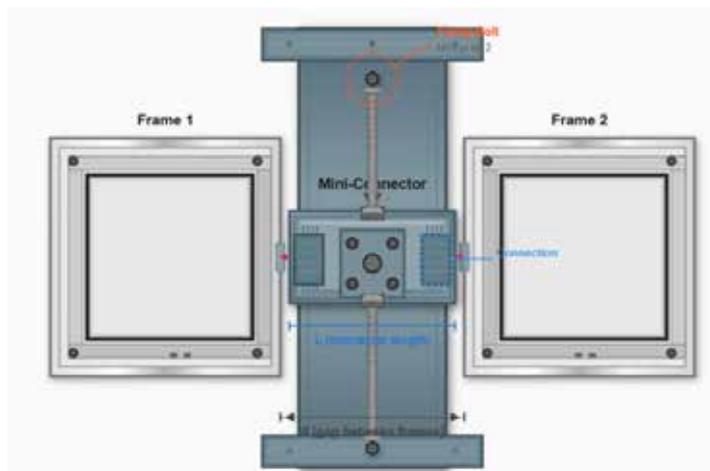


Рис. 3. Схема з’єднання двох рам через міні-з’єднувач із фіксацією до несучої балки

У суцільній схемі рама анкерується безпосередньо до несучої балки/перемички через монтажні пластини з регламентованим кроком; анкери працюють на зсув і згин одночасно, забезпечуючи комбіноване передавання зусиль на каркас будівлі без проміжних стиків. У вузлах кріплення застосовують термопрокладки (EPDM/поліамід 10-15 мм) для переривання теплотоку й мінімізації містків холоду. З огляду на відмову від будь-яких проміжних «міні-з’єднувачів», інженерні рішення концентруються на коректному рамному кріпленні:

1) Суцільне кріплення через отвір рамного профілю. Виконується свердління Ø6 мм із потайною головкою Ø10 мм; кріпильний елемент заглиблюється в несучу основу ≥60 мм і герметизується. Орієнтовна несуча здатність до 800 Н/гвинт; мінус, це видимість точки фіксації.

2) Кріплення за допомогою монтажних пластин, закріплених до спеціальних зачепів рамного профілю використовується переважно на вертикальних частинах вікна (рис. 4).

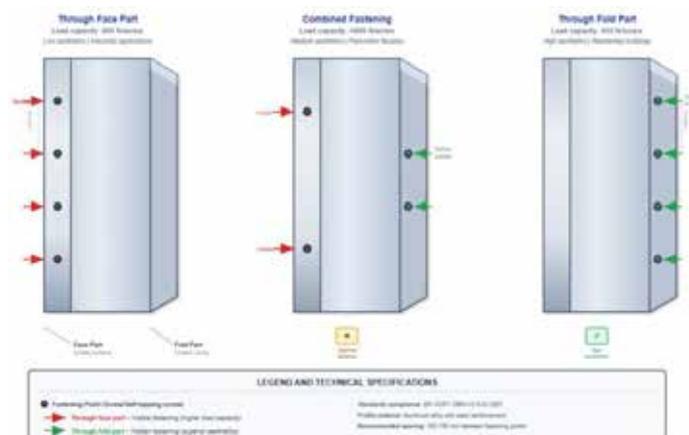


Рис. 4. Схема розташування точок кріплення профілю у фальцевій та лицьовій частинах

За відсутності проходження крізь сталеве армування несуча здатність орієнтовно до 450 Н/гвинт, чого достатньо для житлових блоків за умови правильного кроку анкерування. Порівняння варіантів кріплення наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика варіантів кріплення профілю

Спосіб кріплення	Несуча здатність одного гвинта, Н	Естетичність	Рекомендована сфера
Через лицьову частину	800	Низька	Промислові об’єкти
Через фальцеву частину	450	Висока	Житлові будівлі

Великі площі скління та наявність металевих елементів зумовлюють утворення містків холоду у місцях з'єднання імпоста з балкою. Відповідно до ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель», температура внутрішньої поверхні  $t_{nos}$  має тоді бути не нижчою за точку роси, що визначається за умов:

$$t_{in} - t_{sp} \leq \Delta t_{add} \tag{6}$$

де:

$$t_{in} = 20^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_{add} = 4^{\circ}\text{C} \text{ (для відносної вологості 60\%)}$$

Якщо температура зовнішнього повітря  $t_{in} = -20^{\circ}\text{C}$ , коефіцієнт теплопередачі профільного вузла  $U = 1.3 \text{ Вт/м}^2$ , тоді тепловий потік:

$$q = U \cdot (t_{in} - t_{out}) = 1.3 \cdot 40 = 52 \text{ Вт/м}^2$$

Для зменшення втрат рекомендується застосовувати термопрокладки з EPDM або поліаміду товщиною 10-15 мм, що знижують лінійний коефіцієнт теплопередачі до  $\psi \leq 0,05 \text{ Вт/м}$  (рис. 5).

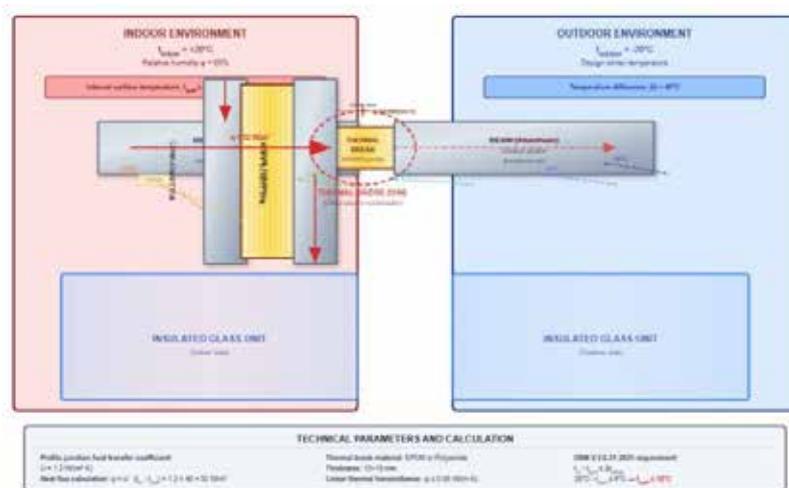


Рис. 5. Теплова схема вузла імпост–балка з термопрокладкою

Також доцільно виконати моделювання ізотерм у програмному середовищі (наприклад, *Therm 7.8* або *Flixo Energy*), щоб перевірити, що мінімальна температура внутрішньої поверхні не опускається нижче  $16^{\circ}\text{C}$  при зовнішніх  $-20^{\circ}\text{C}$ . Для визначення оптимального рішення може бути використана бальна модель оцінювання (за критеріями міцності, монтажу, вартості, естетики й енергоефективності) (табл. 3) [10].

Таблиця 3

**Порівняльна бальна оцінка ефективності конструктивних рішень**

Параметр	Монолітна система	Двосекційна система
Жорсткість конструкції	5	4
Зручність монтажу	3	5
Герметичність стиків	5	4
Естетика фасаду	4	5
Вартість реалізації	3	4
<b>Сумарна оцінка</b>	<b>20</b>	<b>22</b>

З даних дослідження слідує що двосекційна система має перевагу при використанні в умовах серійного житлового будівництва, тоді як монолітна система з опорою на балку більш доцільна у преміальних або технічно складних фасадах, де жорсткість має пріоритетне значення.

**Висновки**

Результати експериментальних досліджень засвідчили невідповідність традиційних розсувних віконних конструкцій із щітковими ущільнювальними елементами актуальним нормативним вимогам щодо енергоефективності, герметичності та акустичного комфорту, регламентованим у ДБН В.2.6-31:2021 та EN ISO 12567-2. Встановлено, що при збільшенні площі світлопрозорого заповнення понад  $10 \text{ м}^2$  зазначені системи

характеризуються критичним зниженням показників жорсткості конструкції та підвищеною повітропроникністю. Запропоноване конструктивно-технологічне рішення на основі нахильно-зсувної фурнітури реалізує механізм багатоточкового притискання стулки, що забезпечує рівномірний розподіл навантажень і герметичне прилягання по всьому периметру контуру ущільнення. Таке технічне рішення дозволяє досягти класу повітропроникності 4 згідно з EN 12207, підвищити індекс звукоізоляції до 40 дБ і гарантувати стабільність теплотехнічних характеристик у динамічних умовах експлуатації.

Підтверджено, що застосування суцільної рамної схеми без використання міні-з'єднувальних елементів формує якісно новий рівень конструкційної жорсткості та геометричної стабільності віконних конструкцій. Монолітна рамна система, закріплена безпосередньо до несучої балкової конструкції через монтажні анкерні пластили з модулем кроку 600–700 мм, забезпечує безпосередню передачу силових потоків без проміжних стикових з'єднань і мінімізує деформаційні процеси. Представлена конструктивна схема редукує прогин імпостного профілю до значень 8–10 мм за ширини прорізу 3 м та забезпечує опірність згинальному моменту до 150 Н·м. Інтеграція термокомпенсаційних прокладок із EPDM-полімеру номінальною товщиною 10–15 мм дозволяє знизити лінійний коефіцієнт теплопередачі до значення  $\psi \leq 0,05$  Вт/м·К.

Результати верифікували, що інтеграція фурнітури з ПВХ профілями та рамним анкерним кріпленням формує конструктивну систему, оптимальну для реалізації енергоефективного та преміум-класу житлового будівництва. Зазначена конструкція забезпечує синергетичне досягнення високих показників герметичності, акустичної ізоляції та естетичної інтеграції у фасадну площину. Встановлено, що за умови технологічно коректного анкерування та прецизійного монтажу з лазерною верифікацією площинності система зберігає функціональну стабільність навіть за масових параметрів стулки до 300 кг. Це уможливило реалізацію панорамних архітектурних рішень без втрати теплової ефективності та підтверджує перспективність нахильно-зсувних систем як пріоритетного елемента сучасної архітектури.

#### Список використаної літератури

1. Дарієнко В. В., Плотніков О. А., Брайченко М. Л. «Світлопрозорі фасади висотних багатофункціональних будинків». Наукові записки (Кіровоградський національний технічний університет). 2010. № 10 (частина III). С. 181–186. URL: <https://files.core.ac.uk/download/pdf/84826033.pdf>
2. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель». Київ: Мінрегіонбуд України, 2021. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=26677](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26677)
3. ДБН В.2.6-22:2001 «Вікна та двері. Правила проектування та монтажу». Київ: Мінрегіонбуд України, 2001. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=4829](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4829)
4. ДБН В.2.6-79:2014 «Енергозбереження будівель». Київ: Мінрегіонбуд України, 2014. URL: (дана версія потребує уточнення)
5. ДБН В.1.1-31:2013 «Захист від шуму». Київ: Мінрегіонбуд України, 2013. URL: (дана версія потребує уточнення)
6. ДСТУ Б В.2.6-23:2009 «Конструкції будинків і споруд. Вікна та двері. Загальні технічні умови». Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=24890](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=24890)
7. ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010 «Настанова з проектування і монтажу світлопрозорих конструкцій». Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. URL: [https://wds.ua/wp-content/uploads/2019/01/DSTU\\_N\\_B\\_V.2.6-146\\_2010\\_PROEKTUVANNYA\\_I\\_ULASHTUVANNYA\\_VIKON\\_TA\\_DVEREY.pdf](https://wds.ua/wp-content/uploads/2019/01/DSTU_N_B_V.2.6-146_2010_PROEKTUVANNYA_I_ULASHTUVANNYA_VIKON_TA_DVEREY.pdf)
8. ДСТУ ISO 19467:2019 «Теплові характеристики будівель. Визначення коефіцієнтів теплових потоків у реальних умовах». Київ: Мінрегіонбуд України, 2019. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=102152](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102152)
9. Кашуба О. М., Якубовський В. Б. Формування фасадів через призму візуальної екології. Просторовий розвиток. 2022. № 1. С. 15–27. DOI: 10.32347/2786-7269.2022.1.15-27.
10. Кузель Л. М. Закономірності теплопередачі через віконні конструкції [Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, спеціальність 05.14.06 «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика»]. Київ: Інститут технічної теплофізики НАН України, 2017. 190 с. URL: [https://itf.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/09/dissert\\_kuzhel\\_liliya-1.pdf](https://itf.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/09/dissert_kuzhel_liliya-1.pdf)
11. Македон В.В., Михайленко О.Г. Управління внутрішніми інвестиційними проектами в регіональному промисловому кластері підприємств. Підприємництво та інновації. 2022. (25). С. 56–63. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/25.9>
12. Нетеса К. М. Вдосконалення та визначення раціональних організаційно-технологічних рішень влаштування фасадних систем багатоповерхових цивільних будівель [Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, спеціальність 05.23.08 «Технологія та організація промислового і цивільного будівництва»]. Дніпро: Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна; Державний

вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», 2021. 163 с. URL: [https://pgasa.dp.ua/wp-content/uploads/2021/04/dis\\_Netesa\\_KM.pdf](https://pgasa.dp.ua/wp-content/uploads/2021/04/dis_Netesa_KM.pdf)

13. Новосад І.Г. Особливості створення комфортного житла при реконструкції типових житлових будинків. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2023. № 66. С. 191-201. DOI: 10.32347/2077-3455.2023.66.191-201.

14. Ратушняк Г. С., Панкевич О. Д., Панкевич В. В. Оцінювання енергоефективності світлопрозорих огорожувальних конструкцій будівель. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2022. № 2 (31). С. 81-87. DOI: 10.31649/2311-1429-2021-2-81-87.

15. Сердюк В. Р., Сердюк Т. В., Франишина С. Ю. Удосконалення огорожувальних конструкцій як джерело зниження теплових втрат сучасної будівлі. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2019. № 1 (26). С. 153-159. DOI: 10.31649/2311-1429-2019-1-153-159.

16. Сердюк Т. В., Франишина С. Ю. Актуальність реновації застарілого житлового фонду в контексті забезпечення його енергоефективності. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2021. № 1 (30). С. 140-147. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2021-1-140-147>

17. Татарченко Г. О., Калачов Ю. О., Медвідь І. І., Поркуян С. Л. Аналіз скло-алюмінієвих фасадних конструкцій та систем кріплення. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2019. № 8 (256). С. 94-98. DOI: 10.33216/1998-7927-2019-256-8-94-98.

18. Bobyk V. V., Kramar H. M. Features of increasing the energy efficiency of buildings and transparent fencing structures. Вісник Тернопільського національного технічного університету. 2024. № 3 (115). p. 44-53. DOI: 10.33108/visnyk\_tntu2024.03.044.

19. Carletti, C., Sciarpi, F., & Pierangioli, L. The Energy Upgrading of Existing Buildings: Window and Shading Device Typologies for Energy Efficiency Refurbishment. Sustainability. 2014. Vol. 6. No. 8. Pp. 5354-5377. DOI: 10.3390/su6085354.

20. Krarti M. Performance of PV-integrated dynamic overhangs applied to US homes. *Energy*. 2021. Vol. 230. Article 120843. DOI: 10.1016/j.energy.2021.120843.

21. Makedon V., Myachin V., Aloshyna T., Cherniavska I., Karavan N. Improving the readiness of enterprises to develop sustainable innovation strategies through fuzzy logic models. *Economic Studies (Ikonomicheski Izsledvania)*. 2025. Vol. 34. No. 5. P. 165–179. URL: [https://archive.econ-studies.iki.bas.bg/2025/2025\\_05/2025\\_05\\_09.pdf](https://archive.econ-studies.iki.bas.bg/2025/2025_05/2025_05_09.pdf)

22. Michael M., Favoino F., Jin Q., Luna-Navarro A., Overend M. A Systematic Review and Classification of Glazing Technologies for Building Façades. *Energies*. 2023. Vol. 16. No. 14. Art. 5357. DOI: 10.3390/en16145357.

23. Preservation Society. *Resilience Guidance: Windows and Doors*. Charleston, SC: The Preservation Society of Charleston, 2024. URL: <https://www.preservationsociety.org/wp-content/uploads/2024/07/6WindowsDoors.pdf>

24. Rezaei S. D., Shannigrahi S., Ramakrishna S. A review of conventional, advanced, and smart glazing technologies and materials for improving indoor environment. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2017. Vol. 159 (Part B). Pp. 26 – 51. DOI: 10.1016/j.solmat.2016.08.026.

25. Yin X., Muhieldeen M. W., Razman R., Chung Ee J. Y., Chiong M. C. The potential effects of window configuration and interior layout on natural ventilation buildings: A comprehensive review. *Cleaner Engineering and Technology*. 2024. Vol. 23. p. 100830. DOI: 10.1016/j.clet.2024.100830.

26. Zukowski M. Study of Various Types of Glazing in a Building Constructed Using Hybrid Technology with a Large Window Area. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15. No. 8. Art. 4488. DOI: 10.3390/app15084488.

## References

1. Darienko, V. V., Plotnikov, O. A., & Braichenko, M. L. (2010). Svitloprozori fasady vysotnykh bahatofunktsionalnykh budynkiv [Transparent facades of high-rise multifunctional buildings]. *Naukovi zapysky (Kirovohradskiyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet)*, 10 (III), 181–186. <https://files.core.ac.uk/download/pdf/84826033.pdf> (in Ukrainian)

2. DBN V.2.6-31:2021. Teplova izoliatsiia budivel [Thermal insulation of buildings]. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2021. [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=26677](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26677) (in Ukrainian)

3. DBN V.2.6-22:2001. Vikna ta dveri. Pravylya proiektuvannia ta montazhu [Windows and doors. Design and installation rules]. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2001. [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=4829](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4829) (in Ukrainian)

4. DBN V.2.6-79:2014. Enerhozberezhennia budivel [Energy saving of buildings]. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2014. (in Ukrainian)

5. DBN V.1.1-31:2013. Zakhyst vid shumu [Noise protection]. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2013. (in Ukrainian)

6. DSTU B V.2.6-23:2009. Konstruktsiia budynkiv i sporud. Vikna ta dveri. Zahalni tekhnichni umovy [Building structures. Windows and doors. General technical requirements]. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2009. [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=24890](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=24890) (in Ukrainian)

7. DSTU-N B V.2.6-146:2010. Nastanova z proektuvannia i montazhu svitloprozorykh konstruksii [Guidelines for the design and installation of translucent structures]. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2010. [https://wds.ua/wp-content/uploads/2019/01/DSTU\\_N\\_B\\_V.2.6-146\\_2010\\_PROEKTUVANNYA\\_I\\_ULASHTUVANNYA\\_VIKON\\_TA\\_DVEREY.pdf](https://wds.ua/wp-content/uploads/2019/01/DSTU_N_B_V.2.6-146_2010_PROEKTUVANNYA_I_ULASHTUVANNYA_VIKON_TA_DVEREY.pdf) (in Ukrainian)
8. DSTU ISO 19467:2019. Teplovi kharakterystyky budivel. Vyznachennia koefitsientiv teplovykh potokiv u realnykh umovakh [Thermal performance of buildings. Determination of heat flow coefficients under real conditions]. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2019. [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=102152](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102152) (in Ukrainian)
9. Kashuba, O. M., & Yakubovskiy, V. B. (2022). Formuvannia fasadiv cherez pryzmu vizualnoi ekolohii [Formation of facades through the prism of visual ecology]. *Prostorovyi rozvytok*, 1, 15–27. <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2022.1.15-27> (in Ukrainian)
10. Kuzhel, L. M. (2017). Zakonomirnosti teploperedachi cherez vikonni konstruksii [Regularities of heat transfer through window structures] (PhD thesis, Instytut tekhnichnoi teplofizyky NAN Ukrainy). Kyiv: ITTF NAN Ukrainy. [https://itff.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/09/dissert\\_kuzhel\\_liliya-1.pdf](https://itff.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/09/dissert_kuzhel_liliya-1.pdf) (in Ukrainian)
11. Makedon, V. V., & Mykhailenko, O. H. (2022). Upravlinnia vnutrishnimy investytsiinymy proektamy v rehionalnomu promyslovomu klasteri pidpriemstv [Management of internal investment projects in a regional industrial cluster of enterprises]. *Pidpriyemnytstvo ta innovatsii*, 25, 56–63. <https://doi.org/10.32782/2415-3583/25.9> (in Ukrainian)
12. Netesa, K. M. (2021). Vdoskonalennia ta vyznachennia ratsionalnykh orhanizatsiino-tekhnologichnykh rishen vlashtuvannia fasadnykh system bahatopoverkhovykh tsyvilnykh budivel [Improvement and determination of rational organizational and technological solutions for the installation of facade systems of multi-storey civil buildings] (PhD thesis, Dnipro: Prydniprovskia derzhavna akademiia budivnytstva ta arkhitektury). [https://pgasa.dp.ua/wp-content/uploads/2021/04/dis\\_Netesa\\_KM.pdf](https://pgasa.dp.ua/wp-content/uploads/2021/04/dis_Netesa_KM.pdf) (in Ukrainian)
13. Novosad, I. H. (2023). Osoblyvosti stvorennia komfortnoho zhytla pry rekonstruksii typovykh zhytlovykh budynkiv [Features of creating comfortable housing during the reconstruction of typical residential buildings]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia*, 66, 191–201. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.66.191-201> (in Ukrainian)
14. Ratushniak, H. S., Pankevych, O. D., & Pankevych, V. V. (2022). Otsiniuvannia enerhoefektyvnosti svitloprozorykh ohorodzhuvalnykh konstruksii budivel [Evaluation of energy efficiency of transparent enclosing structures of buildings]. *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruksii v budivnytstvi*, 2 (31), 81–87. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2021-2-81-87> (in Ukrainian)
15. Serdiuk, V. R., Serdiuk, T. V., & Franyshyna, S. Yu. (2019). Udokonalennia ohorodzhuvalnykh konstruksii yak dzherelo znyzhennia teplovykh vtrat suchasnoi budivli [Improvement of enclosing structures as a source of reducing heat losses of a modern building]. *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruksii v budivnytstvi*, 1 (26), 153–159. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-1-153-159> (in Ukrainian)
16. Serdiuk, T. V., & Franyshyna, S. Yu. (2021). Aktualnist renovatsii zastariloho zhytloвого fondu v konteksti zabezpechennia yoho enerhoefektyvnosti [Relevance of renovation of outdated housing stock in the context of ensuring its energy efficiency]. *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruksii v budivnytstvi*, 1 (30), 140–147. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2021-1-140-147> (in Ukrainian)
17. Tatarchenko, H. O., Kalachov, Yu. O., Medvid, I. I., & Porkuiian, S. L. (2019). Analiz sklo-aluminiievnykh fasadnykh konstruksii ta system kriplennia [Analysis of glass-aluminum facade structures and fastening systems]. *Visnyk Skhidnoukrajinskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 8 (256), 94–98. <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-94-98> (in Ukrainian)
18. Bobyk, V. V., & Kramar, H. M. (2024). Features of increasing the energy efficiency of buildings and transparent fencing structures. *Visnyk Ternopil'skoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, 3 (115), 44–53. [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2024.03.044](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.03.044)
19. Carletti, C., Sciarpi, F., & Pierangioli, L. (2014). The Energy Upgrading of Existing Buildings: Window and Shading Device Typologies for Energy Efficiency Refurbishment. *Sustainability*, 6 (8), 5354–5377. <https://doi.org/10.3390/su6085354>
20. Krarti, M. (2021). Performance of PV-integrated dynamic overhangs applied to US homes. *Energy*, 230, Article 120843. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120843>
21. Makedon, V., Myachin, V., Alosyna, T., Cherniavska, I., & Karavan, N. (2025). Improving the readiness of enterprises to develop sustainable innovation strategies through fuzzy logic models. *Economic Studies (Ikonomicheski Izsledvania)*, 34 (5), 165–179. [https://archive.econ-studies.iki.bas.bg/2025/2025\\_05/2025\\_05\\_09.pdf](https://archive.econ-studies.iki.bas.bg/2025/2025_05/2025_05_09.pdf)
22. Michael, M., Favoino, F., Jin, Q., Luna-Navarro, A., & Overend, M. (2023). A Systematic Review and Classification of Glazing Technologies for Building Façades. *Energies*, 16 (14), 5357. <https://doi.org/10.3390/en16145357>
23. Preservation Society. (2024). Resilience Guidance: Windows and Doors. Charleston, SC: The Preservation Society of Charleston. <https://www.preservationsociety.org/wp-content/uploads/2024/07/6WindowsDoors.pdf>

24. Rezaei, S. D., Shannigrahi, S., & Ramakrishna, S. (2017). A review of conventional, advanced, and smart glazing technologies and materials for improving indoor environment. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 159 (Part B), 26–51. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.08.026>

25. Yin, X., Muhieldeen, M. W., Razman, R., Chung Ee, J. Y., & Chiong, M. C. (2024). The potential effects of window configuration and interior layout on natural ventilation buildings: A comprehensive review. *Cleaner Engineering and Technology*, 23, 100830. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100830>

26. Zukowski, M. (2025). Study of Various Types of Glazing in a Building Constructed Using Hybrid Technology with a Large Window Area. *Applied Sciences*, 15 (8), 4488. <https://doi.org/10.3390/app15084488>

Дата першого надходження рукопису до видання: 16.11.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 12.12.2025

Дата публікації: 31.12.2025