Вінницький національний технічний університет

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова праця

на правах рукопису

ПАНКЕВИЧ ВОЛОДИМИР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

УДК [692.82:728]:519.816(043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ВИБОРУ ВІКОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ З ВРАХУВАННЯМ БЕЗПЕКОВОЇ СИТУАЦІЇ

Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Галузь знань 19 «Архітектура та будівництво»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ В. В. Панкевич

Науковий керівник: Ратушняк Георгій Сергійович,

кандидат технічних наук, професор

Вінниця – 2024

АНОТАЦІЯ

Панкевич В. В. Підтримка прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель з врахуванням безпекової ситуації. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія» галузь знань 19 – «Архітектура та будівництво» – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2024.

В дисертаційній роботі розв'язана актуальна науково-практична задача багатокритеріального вибору віконних конструкцій житлових будівель, що враховує енергоефективність, архітектурну привабливість і функціональність, ринкову ціну, рівень захищеності віконної конструкції та безпекову ситуацію на даній території. Розроблено інтегральну модель та алгоритм прийняття рішень для вибору оптимальних варіантів віконних конструкцій принциповою новизною яких є врахування стійкості вікон до вибухової хвилі та відповідних ризиків залежно до безпекової ситуації. Задача вибору віконної конструкції є частиною фундаментальних рішень на стадії проєктування.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю забезпечення комплексного та цілісного підходу при проєктуванні огороджувальних конструкцій житлових будівель в сучасних умовах зростання вартості енергоресурсів, підвищенню вимог до архітектурного стилю будівлі, функціональності та комфортності приміщень і, особливо, підвищення вимог до рівня безпеки у приміщеннях будівель з огляду на кардинальні зміни ризиків та загроз через російську агресію. Сучасні тенденції міської забудови направлені на використання великої кількості віконних конструкцій у житловій забудові. Раціональний варіант віконної конструкції сприяє підвищенню енергоефективності будівлі, скороченню тепловитрат через огороджувальні конструкції та енергозбереженню, забезпечує освітлення, звукоізоляцію, приватність та естетику приміщення, концептуально доповнює

архітектурний стиль будівлі, а також впливає на безпеку людей, що перебувають у приміщенні. Сьогодення продиктувало ще одну вимогу до огороджувальних конструкцій – забезпечення стійкості до дії вибухової хвилі. За статистикою близько 80% поранень та смертей серед цивільного населення у разі вибухів під час терактів чи бомбардувань спричинені первинними і вторинними осколками, близько 64% усіх смертей та поранень внаслідок вибуху завдаються розбитим віконним склом. Врахування безпекової ситуації при проєктуванні віконних конструкцій є важливою практичною задачею, яка в поточний момент не може ефективно вирішуватися через відсутність відповідних наукових досліджень.

Метою роботи є розробка моделі та алгоритму обґрунтування прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель на основі багатокритеріального аналізу факторів впливу, що забезпечить баланс між архітектурними, енергоефективними, економічними та безпековими аспектами та підвищить якість проєктних рішень.

Об'єктом дослідження є процес обґрунтування прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій під час проєктування житлових будівель з врахуванням безпекової складової.

Предметом досліджень є математичні моделі та алгоритми прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель, які забезпечують баланс між архітектурними, енергоефективними, економічними та безпековими аспектами.

Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі сформовано й розв'язано низку наукових завдань, які відображено у п'яти розділах дисертації.

У першому розділі проведено огляд норм проєктування та особливостей застосування віконних конструкцій житлових будівель; визначено основні характеристики та параметри вікон. Проаналізовано фактори, що впливають на вибір конкретного варіанту віконної конструкції з ряду альтернатив. Здійснено огляд методів та підходів вибору розмірів, параметрів та характеристик вікна при задачах: підвищення енергоефективності; оптимізації

конфігурації вікон; забезпечення теплових показників світлопрозорих огороджувальних конструкцій; забезпечення організаційно – технологічних чинників; оптимізації низького споживання енергії; візуального комфорту. Окремо проаналізовано методи та моделі які враховують показник безпеки віконної конструкції і направлені на розгляд питання вибухозахищеності вікон та покращення захисної здатності огороджувальних конструкцій будівлі. Виконано обґрунтування математичних методів для розроблення моделі прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій та пошуку компромісного рішення, яке задовольняє різні критерії на найкращому рівні.

В другому розділі детально описано та проаналізовано фактори, які впливають на вибір параметрів вікон. Виділено та формалізовано критерії, що є визначальними під час вибору раціонального варіанту віконної конструкції, а саме: енергоефективність; архітектурна привабливість та функціональність; ринкова ціна; захист від злому та проникнення; стійкість вікон до дії вибухової хвилі. Визначено оцінку критеріїв за відповідними факторами впливу. Стійкість вікон до дії вибухової хвилі є новим критерієм, який раніше не враховувався під час прийнятті рішення щодо вибору віконної конструкції.

Проаналізовано вплив розміру віконного прорізу на приведений термічний опір зовнішньої стіни, що є визначальним показником енергоефективності. Виявлено слабке місце нормативної методики, а саме відсутність обґрунтування розмірів розрахункового фрагменту зовнішньої стіни, за яким визначають її приведений опір теплопередачі. Обчислювальним експериментом визначено, що при використанні панорамних вікон приведений опір теплопередачі зовнішньої стіни істотно знижується для розрахункового фрагменту зовнішньої стіни. Тому запропоновано для розрахунку приведеного опору теплопередачі зовнішньої стіни обирати фрагмент зовнішньої стіни будівлі з найбільшими світлопрозорими ділянками. Дане рішення підвищить якість проєктних розрахунків і забезпечить виконання нормативних вимог щодо облаштування енергоефективної теплоізоляційної оболонки будівлі.

В третьому розділі представлено інтегральну модель прийняття рішень щодо вибору оптимальних варіантів віконних конструкцій, яка враховує п’ять частинних критеріїв: енергоефективність; архітектурну привабливість та функціональність; ринкову ціну; захист від злому; стійкість до вибухової хвилі. Модель являє собою лінійну згортку зважених частинних критеріїв. Значення частинних критеріїв, які необхідні для прийняття рішень, запропоновано визначати за результатами експертного попарного оцінювання переваг альтернатив. Попарне порівняння є зручним та дозволяє взяти до уваги і слабкоформалізуєму інформацію про характеристики альтернатив. Значення вагових коефіцієнтів частинних критеріїв запропоновано визначати поетапно. На першому етапі однократно визначається співвідношення між важливостями чотирьох традиційних критеріїв з використанням парних порівнянь за шкалою Сааті. На другому етапі визначається ваговий коефіцієнт критерію стійкості до вибухової хвилі на основі розробленої моделі оцінювання важливості врахування безпекової ситуації. Після цього здійснюється перенормування вагових коефіцієнтів традиційних критеріїв. Такий підхід дозволяє легко адаптувати модель до зміни ризиків ракетно-бомбових атак. Розраховано вагові коефіцієнти чотирьох традиційних критеріїв для багатоповерхових новобудов «економ-класу», «комфорт-класу» та «еліт-класу», що дозволяє застосовувати розроблену модель для більшості будинків без додаткової ідентифікації вагових коефіцієнтів.

Запропоновано модель оцінювання важливості безпекової ситуації під час вибору віконних конструкцій житлових будівель. Модель враховує три складові: близькість до зони бойових дій та до українсько-російського або україно-білоруського кордонів; наближеність до інфраструктурних та воєнних об’єктів, які є потенційними цілями для ракетно-бомбових атак; кількість потенційних цілей в околиці будівлі. Модель являє собою суму трьох коефіцієнтів, кожен із яких оцінює відповідну складову. На основі розрахунку моделі оцінювання важливості безпекової ситуації можна виділити регіональні кластери безпеки – території з однаковим ризиком руйнувань від вибухової хвилі.

В четвертому розділі показано застосування запропонованих моделей на прикладі багатокритеріального вибору віконної конструкції житлового будинку. Для вибору віконної конструкції житлового будинку розглянуто п'ять альтернативних варіантів віконних конструкцій; визначено змістовні та критеріальні оцінки частинних критеріїв альтернатив з застосуванням методу парних порівнянь Сааті. Продемонстровано застосування запропонованої моделі оцінювання важливості безпекової ситуації під час вибору віконних конструкцій житлових будівель. Розглянуто чотири варіанти розташування будівлі з різними регіональними кластерами безпеки відповідно за регіонами: м. Вінниця; м. Київ, м. Чернігів, м. Куп’янськ. Результати моделювання свідчать, що безпекова ситуація суттєво впливає на прийняття рішення щодо вибору віконних конструкцій. За результатами моделювання обирано альтернативи з найбільшим значенням інтегрального критерію. Проведено порівняльний аналіз рішень при виборі вікон для будівлі «комфорт-класу» залежно від розташування та заданої безпекової ситуації.

Для оцінки чутливості рішення до зміни цільової аудиторії здійснено моделювання прийняття рішень при фіксованому регіональному кластері безпеки для житлових будівель «комфорт-класу», «економ-класу» та «еліт-класу». Аналіз результатів підтверджує, що прийняття рішення щодо вибору віконних конструкцій за розробленою моделлю забезпечує врахування як безпекової ситуації так і пріоритетів цільової аудиторії.

У п'ятому розділі запропоновано методику прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій з врахуванням безпекової ситуації. Представлено структурну схему, яка відображає процес прийняття рішень. Розроблено алгоритм прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій з врахуванням безпекової ситуації. Описано вихідні дані, що необхідні для прийняття рішень щодо вибору віконної конструкції з альтеративних варіантів, зазначено приклади виконання алгоритму. Визначено технічні рішення, які підвищують стійкість віконних конструкцій до руйнівної дії вибухової хвилі.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що на відміну від відомих підходів до вибору раціональних параметрів віконних конструкцій при проєктуванні житлових будівель, розроблено новий підхід, який дозволяє формалізувати процес прийняття рішень та забезпечує збалансоване рішення щодо вибору віконних конструкцій, яке відповідає архітектурними, енергоефективними, економічними та безпековими аспектами.

Вперше:

– розроблена інтегральна модель, що забезпечує комплексне та збалансоване обґрунтування прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель з врахуванням безпекової ситуації;

– розроблена модель оцінки важливості врахування безпекової ситуації під час вибору віконних конструкцій житлових будівель, що враховує віддаленість району будівництва до зони бойових дій, а також кількість інфраструктурних об’єктів поблизу об’єкта будівництва.

Набуло подальшого розвитку:

– формалізація факторів, що впливають на вибір віконної конструкції житлових будівель, за рахунок враховування впливу безпекового фактору внаслідок дії вибухової хвилі;

– методика визначення параметрів енергоефективної теплоізоляційної оболонки будівель з врахуванням приведеного опору теплопередачі зовнішньої огороджувальної конструкції стіни з різними розмірами світлопрозорих ділянок.

Удосконалено:

– інструментарій проєктування огороджувальних конструкцій будівель за рахунок використання розробленого алгоритму прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій, який враховує безпекову ситуацію.

Результати дослідження впроваджено в навчальний процес підготовки бакалаврів та магістрів Вінницького національного технічного університету, які навчаються за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» та у

практичну діяльність ТОВ «Подільський проектний інститут», що підтверджується відповідними актами впровадження.

Ключові слова: віконна конструкція, енергоефективність, опір теплопередачі, фактори впливу, огороджувальні конструкції, багатокритеріальне прийняття рішень, вартість, регіональний кластер безпеки, математичне моделювання, експертне оцінювання, парні порівняння Сааті, рівень захисту, алгоритм вибору, вибухова хвиля, пошкодження будівлі.

ABSTRACT

Pankevych V. V. Decision-making support of window construction selection of residential buildings taking into account the safety situation.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 192 – "Building and Civil Engineering", field of knowledge 19 – "Architecture and Construction" – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2024.

The thesis solves the urgent scientific and practical problem of multi-criteria selection of window structures of residential buildings, taking into account energy efficiency, architectural attractiveness and functionality, market price, level of security of the window structure and the security situation in the area. An integral model and decision-making algorithm for selecting optimal window constructions have been developed, the principal novelty of which is to take into account the resistance of windows to blast waves and the corresponding risks depending on the security situation. The task of choosing a window structure is part of the fundamental decisions at the design stage.

The relevance of the study is stipulated by the need to ensure an integrated and holistic approach to the design of residential building envelopes in the current conditions of rising energy costs, increased requirements for the architectural style of the building, functionality and comfort of the premises, and, especially, increased requirements for the level of security in the premises of buildings in view of the dramatic changes in risks and threats due to Russian aggression. Current trends in urban development are aimed at using a large number of window structures in residential buildings. A rational variant of the window structure helps to increase the energy efficiency of the building, reduce heat loss through the building envelope and energy saving, provides lighting, sound insulation, privacy and aesthetics of the room, conceptually complements the architectural style of the building, and also affects the safety of people in the room. Today, another requirement for building envelopes is to ensure resistance to blast waves. According to statistics, about 80% of injuries and deaths among civilians in the event of explosions during terrorist

attacks or bombings are caused by primary and secondary fragments, and about 64% of all deaths and injuries due to an explosion are caused by broken window glass. Taking into account the security situation in the design of window structures is an important practical task that cannot be effectively addressed at the moment due to the lack of relevant scientific research.

The aim of the work is to develop a model and algorithm for justifying decision-making on the choice of window structures for residential buildings based on a multi-criteria analysis of influence factors, which will ensure a balance between architectural, energy-efficient, economic, and safety aspects and improve the quality of design solutions.

The object of research is the process of substantiating decision-making on the choice of window structures in the design of residential buildings, taking into account the safety component.

The subject of the research is mathematical models and algorithms for making decisions on the choice of window structures for residential buildings that ensure a balance between architectural, energy-efficient, economic, and safety aspects.

To achieve this goal, the dissertation formulated and solved a number of scientific tasks, which are reflected in five chapters of the dissertation.

The first chapter provides an overview of the design standards and peculiarities of the use of window structures in residential buildings; the main characteristics and parameters of windows are defined. The factors that influence the choice of a specific window construction option from a number of alternatives are analyzed. A review of methods and approaches to selecting the size, parameters and characteristics of the window for the following tasks is carried out: improving energy efficiency, optimizing the configuration of windows; ensuring thermal performance of translucent enclosing structures; ensuring organizational and technological factors, optimizing low energy consumption, visual comfort. The methods and models that take into account the safety of the window structure and are aimed at considering the issue of explosion protection of windows and improving the protective capacity of the building are analyzed separately. The article substantiates

mathematical methods for developing a decision-making model for the selection of window structures and finding a compromise solution that satisfies various criteria at the best level.

The second chapter describes and analyzes in detail the factors that influence the choice of window parameters. The criteria that are decisive in choosing a rational variant of window construction are identified and formalized, namely: energy efficiency; architectural attractiveness of the window and functionality; market price; protection against burglary and penetration; and resistance of windows to blast waves. The scores for each criterion are determined by the relevant factors of influence. The resistance of windows to blast is a new criterion that was not previously taken into account when deciding on the choice of window construction.

The influence of the size of a window opening on the reduced thermal resistance of an external wall, which is a determining indicator of energy efficiency, is analyzed. The weakness of the normative methodology is revealed, namely the lack of justification of the design fragment of the external wall, which is used to determine the reduced resistance of its heat transfer. Numerical experiments have shown that when using panoramic windows, the reduced heat transfer resistance of an external wall is significantly reduced for the design fragment of the external wall. Therefore, it is proposed that to calculate the reduced heat transfer resistance of an exterior wall, the fragment of the exterior wall of the building with the largest translucent areas should be selected. This solution will improve the quality of design calculations and ensure compliance with regulatory requirements for the arrangement of an energy-efficient building envelope.

The third chapter presents an integral decision-making model for selecting optimal window designs that takes into account five partial criteria: energy efficiency; architectural attractiveness and functionality; market price; burglary protection; and blast resistance. The model is a linear convolution of the weighted partial criteria. It is proposed to determine the values of the partial criteria necessary for decision-making based on the results of an expert pairwise assessment of the advantages of alternatives. Pairwise comparison is convenient and allows taking into

account poorly formalized information about the characteristics of alternatives. It is proposed to determine the values of the weighting coefficients of partial criteria in stages. At the first stage, the ratio between the importance of the four traditional criteria is determined once using pairwise comparisons on the Saaty scale. At the second stage, the weighting coefficient of the fifth criterion (blast wave resistance) is determined based on the developed model by assessing the importance of the security situation. After that, the weights of the traditional criteria are renormalized. This approach makes it easy to adapt the model to changing risks of rocket and bomb attacks. The weighting coefficients of four traditional criteria for multi-storey new buildings of economy class, comfort class, and elite class are calculated, which allows the developed model to be applied to most buildings without additional identification of weighting coefficients.

A model for assessing the importance of the security situation when choosing window structures for residential buildings is proposed. The model takes into account 3 components: 1) proximity to the combat zone and to the Ukrainian-Russian or Ukrainian-Belarusian borders; 2) proximity to infrastructure and military facilities that are potential targets for missile and bomb attacks; 3) number of potential targets in the vicinity of the building. The model is the sum of three coefficients, each of which evaluates the corresponding component. Based on the calculation of the security situation importance model, regional security clusters can be identified - areas with the same risk of destruction from a blast wave.

Section four shows the application of the proposed models on the example of a computational experiment on the selection of a residential building window structure. To select a window structure of a residential building, five alternative options for window structures are considered; substantive and criterion evaluations of partial criteria of alternatives are determined using the Saaty pairwise comparison method. The application of the proposed model for assessing the importance of the security situation when choosing window structures for residential buildings is demonstrated. Four variants of the building location with different regional security clusters are considered, respectively, by region: Vinnytsia, Kyiv, Chernihiv,

Chernihiv, Kupiansk. The modeling results indicate that the security situation significantly affects the decision-making process for the selection of window structures. Based on the modeling results, the computational experiment selected the alternatives with the highest value of the integral criterion and conducted a comparative analysis of decisions when choosing windows for a "comfort class" building, depending on the location and the given security situation.

To evaluate the sensitivity of the decision to changes in the target audience, we modeled decision-making with a fixed regional security cluster for residential buildings of "comfort class", "economy class" and "elite class". The analysis of the results of several computational experiments confirms that decision-making based on the developed model ensures that both the security situation and the priorities of the target audience are taken into account.

The sensitivity of the modeling results to changes in the target audience was analyzed, and the maximum value of the integral criterion was found, which determines the best alternative for a residential building of comfort class, economy class, and elite class. The model calculations confirm that the chosen solution takes into account the different perceptions of the criteria by different target audiences.

Section five proposes a methodology for making decisions on the choice of window structures taking into account the security situation. A structural diagram reflecting the decision-making process is presented. An algorithm for making decisions on the selection of window structures taking into account the security situation is developed. The initial data necessary for making decisions on the choice of window construction from alternative options are described, and examples of the algorithm are given. Technical solutions that increase the resistance of window structures to the destructive effects of a blast wave are identified.

The scientific novelty of the work is that, in contrast to the known approaches to choosing rational parameters of window structures in the design of residential buildings, a new approach has been developed that allows formalizing the decision-making process and provides a balanced decision on the choice of window structures that meets architectural, energy-efficient, economic, and safety aspects.

For the first time:

– an integrated model was developed that provides a comprehensive and balanced justification for making decisions on the choice of window structures of residential buildings, and in addition to traditional technical, economic and architectural factors, takes into account the security situation;

– a model for assessing the importance of the security situation when choosing window structures for residential buildings, which takes into account the remoteness of the construction area from the combat zone, as well as the number of infrastructure facilities near the construction site.

Further development has been made:

– formalization of the factors influencing the choice of window construction of residential buildings by taking into account the impact of the safety factor due to the blast wave;

– a methodology for determining the parameters of an energy-efficient building envelope, taking into account the reduced heat transfer resistance of the external wall envelope with different sizes of translucent areas.

I Improved:

– the tools for designing building envelopes by using the developed decision-making algorithm for selecting window structures that takes into account the security situation.

The results of the research have been implemented in the educational process of training bachelors and masters of Vinnytsia National Technical University, who study in the specialty 192 "Building and Civil Engineering" and in the practical activities of Podilsky Design Institute LLC, which is confirmed by the relevant implementation acts.

Keywords: window structure, energy efficiency, heat transfer resistance, influence factors, envelope structures, multicriteria decision-making, cost, regional safety cluster, mathematical modeling, expert evaluation, Saaty pairwise comparisons, protection level, selection algorithm, blast wave, building damage.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:
– матеріали дисертаційної роботи, викладені у виданнях, що внесені до переліку фахових для захисту дисертацій з технічних наук:

[1] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Ідентифікація факторів, які визначають безпеку вікон при дії вибухової хвилі», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, вип. 35, вип. 2, с. 42–48, Груд 2023. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-2-42-48 .

[2] Г. С. Ратушняк, О. Д. Панкевич, В. В. Панкевич, «Оцінювання енергоефективності світлопрозорих огороджувальних конструкцій будівель», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, вип. 31, вип. 2, с. 81–87, Чер 2022. DOI:https://doi.org/10.31649/2311-1429-2021-2-81-87.

[3] Г. С. Ратушняк, О. Д. Панкевич, В. В. Панкевич, «Теплотехнічні особливості світлопрозорих огороджувальних конструкцій будівель», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, вип. 30, вип. 1, с. 148–156, Груд 2021. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2021-1-148-156.

[4] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Оцінювання теплоізоляційних показників огороджувальних конструкцій будівель лінгвістичними змінними. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, вип. 29, вип. 2, с. 77–86, Лип 2021. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-2-77-86

[5] О. Д. Панкевич, В. В. Миколаєнко, В. В. Панкевич, «Вплив конструктивних рішень вузлових з'єднань (місць примикання конструкцій) на енергоефективність будівлі», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, вип. 27, вип. 2, с. 20–29, Груд 2020. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-20-29.

[6] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Ієрархічна класифікація факторів впливу на підвищення енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівель», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, вип. 27,

вип. 2, с. 204–209, Груд 2020. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-204-209.

[7] О. Г. Лялюк, О. Г. Ратушняк, А. О. Лялюк, і В. В. Панкевич, «Управління факторами, які впливають на вибір фінансового механізму енергозберігаючого проекту», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, вип. 24, вип. 1, Трав 2018. https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/561

Документи інтелектуальної власності, що отримані за результатами дисертації:

- **патент на корисну модель:**

[8] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич «Вікно зі зміним коефіцієнтом теплопередачі» *Патент на корисну модель № и 2024 00024 Україна*, заявл. 02.01.2024.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

[9] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Визначальні чинники впливу на безпеку віконних конструкцій», на *Міжнародній наук.-техн. конф. «Енергоефективність в галузях економіки України»*, Вінниця, Україна, 23-25 листопада 2023, URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2023/paper/viewFile/19061.

[10] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Енергоефективні конструкції фасадної світлопрозорої теплоізоляції», на *Міжнародній наук.-техн. конф. «Інноваційні технології в будівництві-2022»*, Вінниця, 25 листопада 2022, URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2022/paper/view/16715.

[11] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Шляхи вдосконалення вузлів примикання світлопрозорих огороджувальних конструкцій будівель, на LI Всеукраїнській наук.-техн. конф. факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінниця, 31 травня - 1 червня 2022, URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp2022/paper/view/15117

[12] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, О. Д. Панкевич, «Фактори впливу на енергоефективність світлопрозорих огороджувальних конструкцій», *на Міжнародній наук.-техн. конф. «Енергоефективність в галузях економіки України-2021»*, Вінниця, 23-25 листопада 2021. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2021/paper/view/13935.

[13] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Енергоефективність світлопрозорих елементів теплоізоляційної оболонки будівлі», на *L Всеукраїнській наук.-техн. конф. факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання,* Вінниця, 20-23 березня 2021. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/12422

[14] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Аналіз факторів впливу на енергоефективність теплоізоляційної оболонки будівель», на *Міжнародній наук.-техн. конф. «Інноваційні технології в будівництві»*, Вінниця, 2020. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/viewFile/10798/9014

[15] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Шляхи підвищення енергоефективності індивідуальних житлових будинків» , на *XLIX наук.-техн. конф. підрозділів Вінницького національного технічного університету «НТКП ВНТУ–2020»,* Вінниця, 18-29 травня 2020. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/vntu_2020_netpub.pdf

[16] О. Г. Лялюк, В. В. Панкевич, «Управління ризиками енергозберігаючого проекту» *Sixth international scientific – practical conference «Management of the development of technologies»*, Kyiv, March 2019. URI: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2022/10/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8-2019.pdf

ЗМІСТ

Вступ..... 20
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ……. 29
1.1 Аналіз та особливості проєктування віконних конструкцій ……. 29
1.2 Вимоги до характеристик віконних конструкцій…… 37
1.3 Сучасні підходи до моделювання раціональних параметрів віконних конструкцій……...…… 41
1.4 Аналіз математичних методів для розробки моделі прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій …….…… 45
1.5 Задачі дослідження…… 49
1.6 Висновок до розділу 1…… 51
РОЗДІЛ 2 ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІКОННОЇ КОНСТРУКЦІЇ ……..…… 53
2.1 Формалізація критеріїв вибору розміру віконної конструкції ...….. 53
2.2 Енергоефективність ……... 55
2.2.1 Обчислювальний експеримент щодо впливу розміру віконної конструкції на енергоефективність теплоізоляційної оболонки……. 55
2.2.2 Енергоефективність як критерій вибору віконних конструкцій... 64
2.3 Архітектурна привабливість та функціональність ..…….…….. 66
2.4 Ринкова ціна (вартість) ……...…….……..……..…… 72
2.5 Захист від злому і проникнення…….…….. 76
2.6 Стійкість вікон до дії вибухової хвилі (захищеність від вторинних факторів вибуху) ……. 80
2.7 Висновок до розділу 2…….. 92
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЬ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ ВІКОННИХ КОНСТРУКЦІЙ …….……... 94
3.1 Інтегральний критерій прийняття рішень …….……. 94
3.2 Визначення значень частинних критеріїв ……..…….. 96
3.3 Підхід до визначення вагових коефіцієнтів…….…… 99

3.4 Визначення співвідношень важливості традиційних критеріїв……. 100
3.5 Модель оцінки важливості врахування безпекової ситуації під час вибору віконних конструкцій…… 105
3.6 Висновок до розділу 3……..……..…… 113
РОЗДІЛ 4 БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР ВІКОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ЗАПРОПОНОВАНИМ МЕТОДОМ…… 115
4.1 Опис альтернатив…..……..……..……. 115
4.2 Оцінювання характеристик альтернатив…..……..…….. 118
4.2.1 Енергоефективність …..……..……..…… 118
4.2.2 Архітектурна привабливість та функціональність…..……. 120
4.2.3 Ринкова ціна…..……..……..…….. 123
4.2.4 Захист від злому…..……..……..…….. 124
4.2.5 Стійкість до вибухової хвилі…..……..…….. 126
4.3 Змістовний порівняльний аналіз альтернатив…..…….. 128
4.4. Прийняття рішень…..……..……..…….. 130
4.4.1 Нормування вагових коефіцієнтів …..……..……..…… 130
4.4.2 Результати моделювання…..……...…… 132
4.5 Чутливість рішення до цільової аудиторії…..…… 135
4.6 Висновок до розділу 4…..……..…….. 139
РОЗДІЛ 5 ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВИБОРУ ВІКОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ЗАПРОПОНОВАНИМ МЕТОДОМ.. 141
5.1 Методика прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій з врахуванням безпекової ситуації…… 141
5.2 Технічні рішення, що підвищують захист віконних конструкцій при дії вибухової хвилі …… 147
5.3 Висновки до розділу 5…… 150
ВИСНОВКИ ……..… 151
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .. …….. 155
Додаток А …… 167
Додаток Б ……..…… 174
Додаток В ……. 178

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДСТУ – Державний стандарт України.

ДБН – Державні Будівельні Норми.

ПВХ вікна – вікна полівінілхлоридні – це світлопрозорі конструкції, що складаються з пластикового профілю, склопакета та віконної фурнітури.

ЄС – Європейський Союз.

ТОВ – товари́ство з обмеженою відповідальністю.

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження.

Основними функціями зовнішньої оболонки будівлі є забезпечення енергоефективної теплоізоляції, створення гармонійного зовнішнього вигляду та захисту від впливу навколишнього середовища. Вікна, як світлопрозорі елементи зовнішньої оболонки житлових будівель, виконують ці цільові завдання, забезпечуючи комфорт і безпеку усередині приміщень. Сучасні тенденції міської забудови направлені на використання великої кількості світлопрозорих елементів у житловій забудові, що підвищує привабливість та виразність будівель.

У житловому будівництві пріоритетним напрямком є енергоефективність та енергозбереження будівлі. Енергоефективні будівлі зазвичай мають кращу теплоізоляцію, забезпечують більш комфортне і здорове середовище для мешканців. Параметри віконних конструкцій (їх розмір, тип, вид) суттєво впливають на енергоефективність будівлі – великі розміри вікон часто є причиною значних тепловтрат. Це може бути особливо помітно у разі застосування вікон з не якісною теплоізоляцію.

Одночасно при виборі конструкцій важливим є економічна складова – ринкова ціна. При зовнішній схожості вікна можуть мати різні характеристики, такі як теплові і звукоізоляційні властивості, рівень безпеки і надійності, виконані з різних за якістю матеріалів та знаходитись у різних цінових сегментах.

Вікна захищають внутрішній простір від вітру, дощу, снігу, сонячної радіації та інших атмосферних впливів, а також впливають на рівень захищеності приміщення. За статистикою в Україні кожні п’ять хвилин зламуються вікна чи двері, тому важливо забезпечити і функцію захисту приміщення при виборі віконної конструкції.

Питання безпеки приміщення особливо стало відчутно з початком повномасштабної війни в Україні. За статистикою близько 64% усіх смертей

та поранень внаслідок вибуху завдаються розбитим віконним склом. Відповідно сьогодення продиктувало ще одну вимогу до огороджувальних конструкцій – забезпечення стійкості до дії вибухової хвилі.

Забезпечення належного безпекового рівня потребує певних змін у вимогах до проєктування житла, зокрема до зовнішніх огороджувальних конструкцій будівель. Методики оцінювання впливу руйнування вікон внаслідок дії вибухової хвилі у житлових приміщеннях в Україні сьогодні немає. Але потреба у забезпеченні стійкості віконних конструкцій до дії вибухової хвилі в тій чи іншій мірі існує на всій території залежно від регіону.

Очевидно, що актуальним сьогодні є знайти баланс між баченням архітекторів, вимогами проєктантів-конструкторів, ціновою політикою забудовника, комфортними умовами, захистом приміщення від проникнення та безпеки від руйнівної дії вибухової хвилі. Ринок віконних конструкцій досить різноманітний, тому виникають ситуації, коли є декілька варіантів віконних конструкцій які можна застосувати, але явної переваги одного варіанту над іншим чітко не проглядається. В одному варіанті можуть бути кращі показники енергоефективності, в іншому зовнішнього вигляду будинку і приміщення, в третьому врахована захищеність від злому, але нижча енергоефективність ніж у першого варіанту.

Актуальною науковою задачею є підвищення якості проектних рішень за рахунок розробки моделі багатокритеріального вибору віконних конструкцій житлових будівель, що забезпечить баланс між архітектурно-будівельними рішеннями, енергоефективністю, економічними можливостями замовника та безпекою приміщень.

Мета та завдання дослідження.

Метою роботи є розробка моделі та алгоритму обґрунтування прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель на основі багатокритеріального аналізу факторів впливу, що забезпечить баланс між архітектурними, енергоефективними, економічними та безпековими аспектами та підвищить якість проєктних рішень.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі поставлено та вирішено такі завдання**:**

– провести аналіз особливостей застосування та проєктування віконних конструкцій житлових будівель; дослідити сучасні методи та підходи до вибору раціональних параметрів і характеристик світлопрозорих огороджувальних конструкцій та до оцінки їх вибухозахищеності та покращення захисної здатності; провести аналіз та обґрунтування математичних моделей прийняття рішень, які можна засовувати під час вибору віконних конструкцій на основі багатокритеріального аналізу;

– дослідити як зміна розміру віконного прорізу впливає на приведений опір теплопередачі зовнішньої стіни, який є основним показником її теплоізоляційних характеристик;

– формалізувати критерії та фактори, що впливають на прийняття рішення щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель з врахуванням стійкості віконної конструкції до дії вторинних факторів вибуху та безпекової ситуації;

– розробити модель прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель на основі багатокритеріального аналізу факторів впливу, яка повинна забезпечити баланс між архітектурно-будівельними рішеннями, енергоефективністю, економічними можливостями замовника та захищеністю приміщень з врахуванням безпекової ситуації;

– розробити модель оцінки важливості врахування безпекової ситуації при виборі віконних конструкцій житлових будівель;

– презентувати отримані результати дослідження на прикладах багатокритеріального вибору віконних конструкцій за запропонованим методом, провести аналіз чутливості розроблених моделей до цільової аудиторії (будівель різного класу комфортності);

– запропонувати методику прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій з врахуванням безпекової ситуації та надати рекомендації, що підвищують захист віконних конструкцій при дії вибухової хвилі.

Об’єктом дослідження є процес обґрунтування прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій при проєктуванні житлових будівель з врахуванням безпекової складової.

Предметом досліджень є математичні моделі та алгоритми прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель, які забезпечують баланс між архітектурними, енергоефективними, економічними та безпековими аспектами.

Методи дослідження.

При вирішенні задач дисертаційної роботи використовувались методи: *аналізу, систематизації та узагальнення інформації, абстрактно-логічний* – для здійснення теоретичних узагальнень, визначення факторів впливу, формалізації критеріїв вибору та формування висновків і рекомендацій; *метод експертних оцінок, математичне моделювання* – для розроблення моделей прийняття рішення щодо вибору віконних конструкцій; *обчислювальний експеримент*, *обробка даних* – при дослідженні впливу зміни розміру віконного прорізу на приведений опір теплопередачі зовнішньої стіни та при апробації розроблених математичних моделей.

Теоретико-методичною та інформаційною базою дисертації стали наукові доробки вітчизняних і закордонних учених за обраною проблематикою дослідження, законодавчі та нормативні акти, які регламентують проєктування теплоізоляційної оболонки, віконних конструкцій, офіційні статистичні матеріали, матеріали науково практичних конференцій різних рівнів, власні спостереження, а також результати аналітичних узагальнень автора.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що на відміну від відомих підходів до вибору раціональних параметрів віконних конструкцій при проєктуванні житлових будівель, розроблено новий підхід, який дозволяє формалізувати процес прийняття рішень та забезпечує збалансоване рішення щодо вибору віконних конструкцій, яке відповідає архітектурними, енергоефективними, економічними та безпековими аспектами.

Вперше:

– розроблена інтегральна модель, що забезпечує комплексне та збалансоване обґрунтування прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель з врахуванням безпекової ситуації;

– розроблена модель оцінки важливості врахування безпекової ситуації під час вибору віконних конструкцій житлових будівель, що враховує віддаленість району будівництва до зони бойових дій, а також кількість інфраструктурних об’єктів поблизу об’єкта будівництва.

Набуло подальшого розвитку:

– формалізація факторів, що впливають на вибір віконної конструкції житлових будівель, за рахунок враховування впливу безпекового фактору внаслідок дії вибухової хвилі;

– методика визначення параметрів енергоефективної теплоізоляційної оболонки будівель з врахуванням приведеного опору теплопередачі зовнішньої огороджувальної конструкції стіни з різними розмірами світлопрозорих ділянок;

Удосконалено:

– інструментарій проєктування огороджувальних конструкцій будівель, за рахунок використання розробленого алгоритму прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій, що враховує безпекову ситуацію.

Практичне значення отриманих результатів.

Запропоновані та обґрунтовані в дисертаційній роботі теоретичні положення та наукові висновки доведено до рівня конкретних методичних рекомендацій та практичних застосувань, а саме :

– формалізації факторів багатокритеріального вибору віконних конструкцій житлових будівель, що забезпечить баланс між архітектурно - технічними, енергоефективними, економічними та безпековими аспектами при обґрунтуванні проєктних рішень, та буде сприяти підвищенню якості проєктування будівлі;

– методики прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій з врахуванням безпекової ситуації та рекомендацій, стосовно заходів які підвищують захист віконних конструкцій при дії вибухової хвилі;

– розробленого конструктивно-технологічне рішення вікна зі змінним коефіцієнтом теплопередачі, що забезпечує підвищення енергоефективності вікна (патент на корисну модель № u 2024 00024; заявл. 02.01.2024).

Впровадження основних результатів роботи.

Результати дисертаційних досліджень впроваджено в навчальний процес підготовки бакалаврів і магістрів Вінницького національного технічного університету, які навчаються за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» та у практичну діяльність ТОВ «Подільський проектний інститут», що підтверджується відповідними актами впровадження.

Зв'язок роботи з науковими напрямами, програмами та планами.

Дисертаційна робота виконувалась здобувачем протягом 2020-2024 рр. відповідно до наукової, науково-технічної та інноваційної діяльності кафедри Інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету в рамках кафедральної наукової теми 93КЗ «Розробка наукових основ створення інноваційних енергозберігаючих процесів і технологій в галузі будівництва та цивільної інженерії».

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійно виконаною кваліфікаційною працею, в котрій викладено авторський підхід до розроблення теоретико-методичних аспектів методики обґрунтування прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель з врахуванням безпекової ситуації. Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих в співавторстві, згідно списку опублікованих праць здобувача за темою дисертації, є таким: в роботі [1] – проведено аналіз нормативної бази щодо безпеки віконних конструкцій при проєктуванні житлових будівель, та визначенні підходів та методик досліджень стійкості вікон до дії вибухової хвилі у країнах ЄС, Великобританії, Китаю, США та Україні. Змістовно визначено основні фактори, що впливають на безпеку вікон житлових

приміщень з врахуванням дії вибухової хвилі; в роботі [2] – формалізовано і обґрунтуванно фактори, що впливають на енергоефективність світлопрозорих елементів зовнішніх конструкцій; в роботі [3] – проведено аналіз використання панорамних вікон у житловому сегменті сучасної забудови міста та наведено результати числового експерименту щодо впливу розміру віконної конструкції на значення приведеного термічного опору обраної частини фасаду будівлі; в роботі [4] – встановленно зв'язки між факторами, що випливають на прийняття оціночного рішення щодо енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівель для побудови моделі; в роботі [5] – проведено аналіз місць примикання віконного блока до стінового прорізу та визначенно енергозберігаючі конструктивні рішення вузлових з'єднань; в роботі [6] – розроблено ієрархічний взаємозв'язок між параметрами стану та оцінкою технічного стану теплоізоляційної оболонки будівлі, де визначено фактори впливу на теплозахист віконних конструкцій; в роботі [7] – визначено та класифіковано фактори, що впливають на прийняття економічних рішень при виборі енергозберігаючого проєкту.

Публікації. За темою дисертації з викладенням її основного змісту опубліковано 16 праць , в т. ч.: 7 статей у наукових фахових виданнях України; 1 патент на корисну модель; 8 тез доповідей конференцій різного рівня.

Апробація роботи. Основний зміст дисертації та її положення викладено та обговорено на таких наукових конференціях: LIII Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії (м. Вінниця, 2024) Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність в галузях економіки України-2023» (м. Вінниця, 2023 р.), LII Науково-технічна конференція факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії (м. Вінниця, 2023 р.), Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві-2022» (м. Вінниця, 2022 р.); Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання (м. Вінниця, 2021 р.), Міжнародна науково-технічна конференція

«Енергоефективність в галузях економіки України-2021 (м. Вінниця, листопад 2021 р.), Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві-2020» (м. Вінниця, листопад, 2020 р.), The sixth international scientific–practical conference «Management of the development of technologies» (Kyiv, March 2019).

Структура і обсяг роботи. Робота складається зі вступу, пяти розділів, висновків, списку літературних джерел (94 найменування) та 3 додатків. Робота викладена на 180 сторінках. Робота містить 36 рисунків та 36 таблиць.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз та особливості проєктування віконних конструкцій

Забезпечення ефективної теплоізоляції, звукоізоляції, створення гармонійного зовнішнього вигляду будівлі та захист від впливу навколишнього середовища це основні функції зовнішньої оболонки будівлі. Вікна – світлопрозорий обов’язковий елемент у складі зовнішньої оболонки житлових будівель, які відповідно забезпечують її функціональне призначення. Вікна надають архітектурну виразність будівлі та індивідуальність приміщенню, створюють візуальний контакт з навколишнім середовищем, забезпечують провітрювання і природне освітлення, суттєво впливають тепло- і звукоізоляцію зовнішньої оболонки будівлі, а також на вибір інженерних систем – опалення та вентиляцію. Вікна служить бар'єром, що захищає внутрішні елементи будівлі від вітру, дощу, снігу, сонячної радіації та інших атмосферних впливів, а також впливають на рівень безпеки приміщення. Питання врахування безпекової ситуації при проєктуванні зовнішньої оболонки будівлі на сьогодні не визначено будівельними нормами.

Важливим завданням при проєктуванні віконних конструкцій є знаходження балансу між зовнішнім виглядом, енергоефективністю, його економічною ефективністю та безпекою. Державні стандарти ДСТУ [1, 2] і будівельні норми ДБН [3, 4, 5] визначають основні вимоги до конструкції вікон житлових будівель, але нормативної методики цілісного вибору раціональної (оптимальної) конструкції вікна (розмірів, пропорцій вікон) з врахуванням сукупності факторів: енергоефективності, функціональності, естетики, дизайну, економічності та безпеки немає.

Вікна з конструктивної точки зору це багатоелементна конструкція будівлі. Основні елементи вікна представлено на рисунку 1.1.

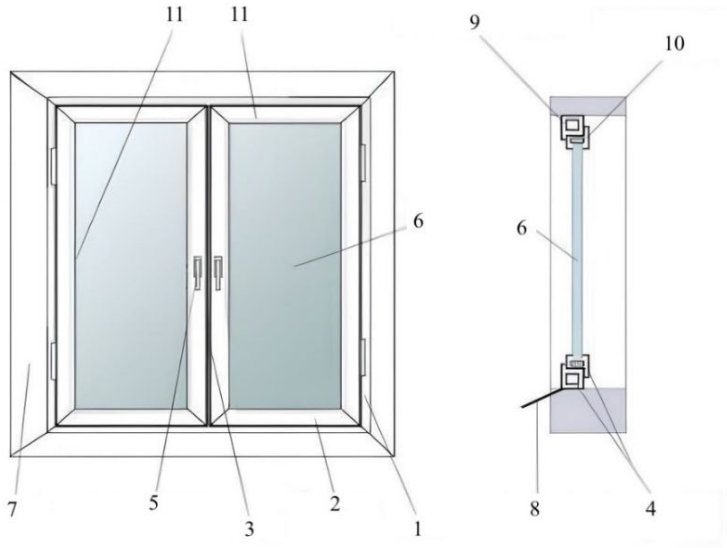


Рисунок 1.1 – Основні елементи вікна:

1 – рама, 2 – стулка, 3- імпост, 4 – армуючий профіль, 5 – фурнітура, 6 – склопакет, 7 – укос, 8 – відлив, 9 – рамний, 10 – створочний профіль, 11– штапік.

Основним геометричним параметром вікна є розмір, який впливає на :

1. енергоефективність: розміри вікон забезпечують (або зменшують) енергоефективність приміщення, зменшуючи або збільшуючи витрати на опалення та кондиціювання повітря;
2. ефективне використання природного світла: правильно вибрані розміри вікон дозволяють максимально використовувати природне освітлення, що зменшує витрати на штучне освітлення та створює комфортне середовище для проживання;
3. дизайн та естетику: вікна можуть виступати елементом дизайну приміщення, впливають на його зовнішній вигляд та архітектурну композицію будівлі;
4. функціональність: правильно вибрані розміри вікон дозволяють забезпечити комфорт та зручність використання приміщення, враховуючи його призначення та потреби користувачів;

5. вентиляцію та циркуляцію повітря: розмір вікна може забезпечити ефективну циркуляцію повітря, що важливо для надходження свіжого повітря в приміщенні;
6. безпеку, оскільки вікно є захисною конструкцією приміщення.

Вибір площі та пропорцій вікон є частиною фундаментальних рішень на ранній стадії проєктування, які важко змінити пізніше, але які мають суттєвий вплив на енергоефективність будівлі, звуко- та шумоізоляцію і безпеку людей.

У житловому будівництві спостерігається тенденція до використання велико габаритних світлопрозорих конструкцій – панорамних вікон. Ще десять років тому панорамні світлопрозорі огороджувальні конструкції були у елітній житловій нерухомості (преміум класу), а зараз вони широко використовуються у житлових комплексах комфорт-класу та вище. На сьогодні немає класифікації за розмірами вікна, для зручності пропонуємо класифікувати:

– стандартні (рис. 1.2 А);
– збільшені по висоті або ширині конструкції, але які мають підвіконну частину (великі вікна) (рис. 1.2 Б).
– панорамні на всю висоту приміщення (рис. 1.2 В).

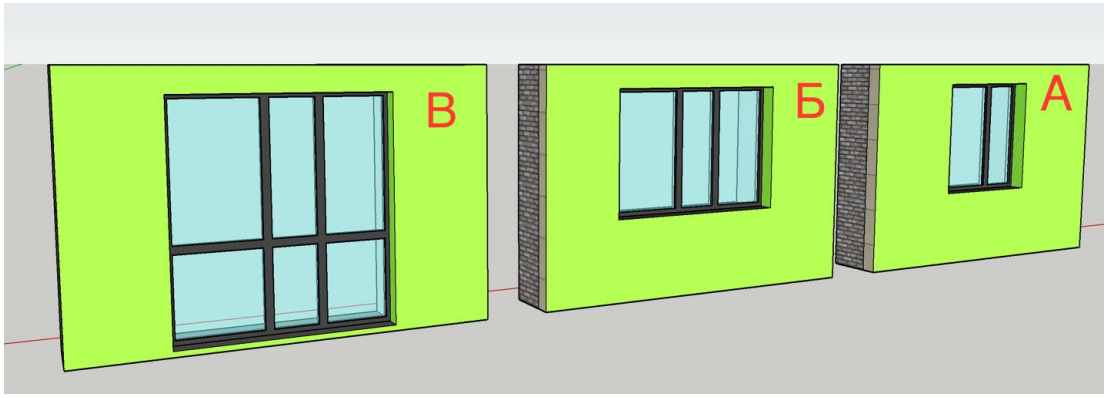


Рисунок 1.2 – Типи вікон у сучасній забудові:
А – стандарте, Б – збільшене по ширині конструкції (велике), В – панорамне

Вимоги до характеристики панорамних вікон та енергоефективності фасадів житлових будинків з панорамними вікнами, на сьогодні відсутні [7, 8]. За формою вікна у житлових будівлях можуть бути: прямокутні, квадратні,

арочні, круглі та овальні, трикутні, трапецієвидні, ромбовидні, шестикутні [9]. Прямокутні вікна є найпоширеніша формою, ці вікна легко виготовляти та встановлювати. Решта форм переважно використовується для створення архітектурного стилю будівлі та особистих вподобань власників вікон і вирішення функціональних потреб.

Вікна класифікують за типом відкривання: глухі (не відкриваються), розсувні (відкриваються вертикально), відкидні (відкриваються горизонтально), поворотно-відкідні, зсувні (зсуватись в одну сторону – вертикально або горизонтально), штульповими (при відкриванні у рами відсутній імпост), з автоматичним управлінням фурнітури.

За матеріалом рамкових елементів вікна класифікують на: дерев'яні; полівінілхлоридні (ПВХ); з алюмінієвих сплавів; сталеві; склопластикові; комбіновані (деревоалюмінієві, деревополівініл-хлоридні).

У житлових будівлях найчастіше використовують [9, 10,14]:

- дерев'яні вікна (дерев’яна рама – рис. 1.3);
- ПВХ вікна (пластикова рама – рис. 1.4);
- алюмінієві (алюмінієва рама – рис. 1.5).

Рисунок 1.3 – Вікно з дерев’яною рамою в розрізі:
1 – скло; 2 – герметизація склопакету, 3 – штапік; 4 – ущільнювач, 6 – профіль; 7 –відлив, 8 – жолоб для провітрювання холодної зони навколо скла, 9 – рамний відлив з розімкнутим тепловим мостом та нижньою вентиляцією, 10 – дерев’яний прижимний прилив; 11 – центральний ущільнювач, 12 – надріз для встановлення зовнішнього підвіконника

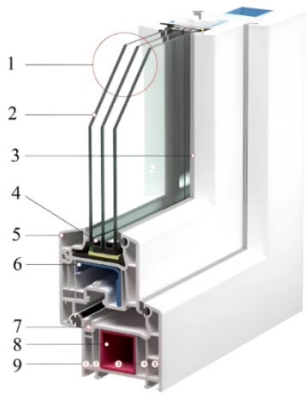


Рисунок 1.4 – Вікно з ПВХ профілем в розрізі :

1 – склопакет ; 2 – скло, 3 – ущільнювач, 4 – пластикова дистанційна рамка; 5 – штапік; 6 – армування створки; 7 – паз штапіка; 8 – замкнене армування; 9 – п’ять повітряних камер.

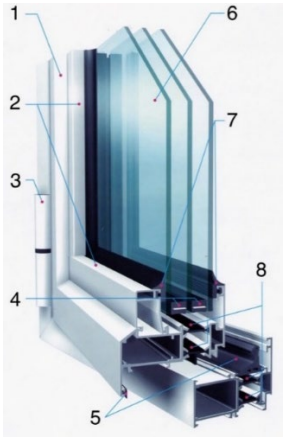


Рисунок 1.5 – Алюмінієве вікно в розрізі:

1 – алюмінієвий сплав з міцним полімерним покриттям; 2 – штапік, 3 – фурнітура, 4 – ізолююча стрічка (підвищує герметичність) 5 – ущільнювальні створки; 6– склопакет; 7 – ущільнювачі склопакету; 8 – термобар’єр

Кожен матеріал рамкових елементів вікна має свої переваги. До переваг ПВХ вікон [9 – 11] можна віднести: міцність і зносостійкість, невибагливість у догляді (експлуатації), різноманітність форм, нижчу вартість (порівняно з дерев’яними вікнами). До переваг дерев’яних конструкцій вікон можна

віднести: співвідношення ваги та міцності, екологічність, низьку теплопровідність, високу звукоізоляцію. У рамних ПВХ конструкціях вікнах використовуються різні типи профілів та кількість камер [9 – 11]:

- Трикамерний профіль – забезпечує базовий рівень тепло- та звукоізоляції. Переважно використовують для скління вікон неопалювальних приміщень.
- П’ятикамерний профіль надає кращу тепло- та звукоізоляцію, забезпечує високий рівень комфорту та енергоефективності. Використовують для скління вікон квартир та будинків.
- Шестикамерний профіль та більше має найкращі характеристики тепло- та звукоізоляції. Використовують для будівель з особливими вимогами до енергоефективності та звукоізоляції.

Для житлових будинків і квартир рекомендовано використовувати 3-5 камерний профіль. Важливим значенням є монтажна глибина, товщина стінок профілю. Віконні профілі ПВХ вікон поділяють на класи – А, В, С, по товщині стінок профілю [11]. Дане технічне значення продиктовано європейським стандартом. Профіль класу “А” має товщину від 2,5 мм внутрішніх стінок, які створюють повітряні камери. Зовнішні стінки товщиною від 2,8 мм. Профіль є стійким до високих вітрових навантажень (підвищена міцність), забезпечує максимальну звукоізоляцію та теплоізоляцію. Профіль клас “В” має товщину внутрішньої стінки не менше 2 мм, а зовнішньої не менше 2,5 мм. Профіль відповідає нормам безпеки, санітарним нормам. Профіль класу «В» має достатню міцність для житлових будівель підходить для стандартних і невеликих віконних прорізів. Показник надійності нижче ніж у класі «А». Профіль класу “С” немає певних вимог до товщини. Використовують переважно у технічних приміщеннях, або як тимчасові системи.

У вікнах з алюмінієвими рамними конструкціями вирізняють два типи профілів «теплий» і «холодний». Для житлових будівель переважно використовують «теплі» алюмінієві профілі.

Вікна відрізняються за кількістю та за напрямом відкривання стулок, які відіграють роль основних рухомих елементів вікн. За кількістю стулок [9]: одностулкові, двостулкові, тристулкові, чотиристулкові. Збільшення кількість стулок та їх різна комбінація, надають більше можливостей для вентиляції та доступу до зовнішнього середовища, вибору форми та розміру вікна. За напрямом відкривання стулок: всередину приміщення; назовні; двостороннього відкриття; лівого відкривання; симетричного відкривання.

Скло займає 85-90% від площі всієї світлопропускаючої конструкції, тому при виборі вікна основний акцент робиться на якість скління. Вікна класифікують варіантами заповнення світлопрозорої частини:

– з листовим склом;
– зі склопакетами;
– з листовим склом і склопакетами.

У житлових приміщеннях будівель переважно використовують склопакети у новобудовах, проте у житловому фонді збудованому до 2000 р. присутні всі варіанти скління.

Склопакет – це елемент вікна, що складається з двох-трьох-чотирьох листів скла, з'єднаних в єдине ціле за допомогою порожніх алюмінієвих рамок та герметиків бутилу. Шари скла розділено між собою спеціальними повітряними камерами. Одна із складових конструкцій склопакету – дистанційна рамка, вона забезпечує відстань між склом і захищає вільний простір від потрапляння вологи і виникнення конденсату. Конструкція склопакету залежить від виду та товщини скла, відстані між склом, заповнення газами тощо [12,15]. Найпростіший склопакет з формулою 4М1-6-4М1-6-4М1 (4 – 4 мм – товщина скла, М1 – скло звичайне, 6 – відстань 6 мм між листами скла). Склопакети мають різну ширину (24 мм, 32 мм, 36 мм, 42 мм).

Вибір склопакета повністю залежить від вимог, які пред'являє замовник. Вибір конструкції склопакета може бути обмежений особливостями профільної системи й технічними умовами конкретного віконного виробництва. Вид скла залежить від технології його обробки. Скло яке

використовують у вікнах, можуть мати різні характеристики: теплотехнічні, міцнісні на навантаження та удар. Вид скла зазвичай вказують при маркуванні або у формулі, яка описує склопакет. [12,13,15 -17]:

- М – стандартне листове скло, отримане методом витяжки;
- F – флоат-скло з високою якістю поверхні;
- А – армоване- скло з металевою сіткою, безпечне і стійке;
- К – енергозберігаюче скло з твердим покриттям, перешкоджає проходженню теплових променів. Емісійний коефіцієнт К-скла становить 0,2, у звичайного скла 0,9, тобто приріст теплостійкості дуже великий;
- І – енергозберігаюче з м'яким покриттям, дає ще більший приріст теплозбереження. Емісійний коефіцієнт 0,02, що в 10 разів більше, ніж у К-скла, проте має меншу міцність покриття;
- S – пофарбовані в масі листи;
- PI – поверхня захищена тепловідбивною плівкою, low-e покриття не пропускає інфрачервоні промені, в той час як світло все ще фільтрується;
- Ламіноване скло, багатошарове скло (триплекс) – скло з підвищеним рівнем безпеки, здатне ефективно знижувати вплив небажаних шумів та підвищує захисту приміщення від шкідливого впливу ультрафіолетових променів. Складається з декількох шарів скла, ламінованих разом спеціальною плівкою або спеціальною ламінуючої рідиною. При руйнуванні скла воно залишається на плівці (переважно скло розбивається, але залишається в рамі).
- Тоноване скло – з додаванням забарвлення, використовують для дизайну, задля збільшення конфіденційності приміщення і зменшення тепла від сонячного світла.

Проаналізувавши будівельні норми та стандарти [1 – 5, 13, 18, 20] та інформаційні матеріали виробників вікон [9-12, 14 -17] параметри вікон можна згрупувати так: геометричні, функціональні, конструктивні (рис. 1.6).

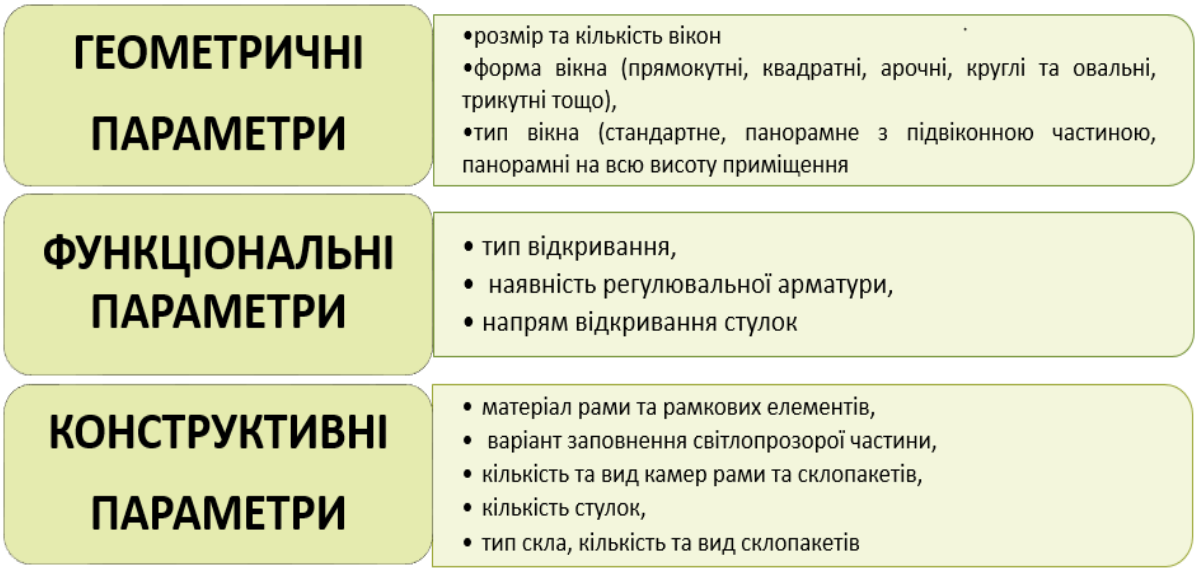


Рисунок 1.6 – Основні параметри віконних конструкцій

1.2 Вимоги до характеристик віконних конструкцій

Параметри віконних конструкцій (рис. 1.6) впливають на основні характеристики вікон, які є складовими для забезпечення раціональної та оптимальної функціональності, енергоефективності, безпеки та естетики приміщення. Згідно ДСТУ [1] основними характеристиками вікон є:

- приведений опір теплопередачі, визначається згідно з ДСТУ [2];
- звукоізоляція та шумоізоляція, визначається згідно з ДСТУ [2];
- освітлення, визначається згідно з ДБН [4];
- коефіцієнт загального свілопропускання, визначається згідно з ДБН [3];
- паропроникнення, визначається згідно з ДСТУ [2];
- повітропроникнення, визначається згідно з ДСТУ [20];
- водонепроникнення, визначається згідно з ДСТУ [21];
- силові навантаження від вітру та вилому, визначається згідно з ДСТУ [23 – 26].

Характеристики вікна пов’язані з його параметрами, наприклад зміна матеріалу віконної рами та кількості камер віконної рами призведе до зміни характеристик. Це в свою чергу вплине на теплотехнічні, міцнісні та безпекові

показники вікна. Вибір характеристик вікна здійснюється на етапі проєктування, тому важливо визначити фактори, що впливають на прийняття рішення щодо вибору конструкції вікна.

Зовнішній вигляд вікна, як правило, визначається архітектурним стилем будівлі або приміщення, оскільки вікна є повноцінним елементом фасаду. Розмір і кількість вікон відіграє велику роль при обґрунтуванні дизайну будівлі, створюють образ будівлі, підкреслюють естетику.

Теплоізоляційні характеристики вікон впливають на енергоефективність теплоізоляційної оболонки і відповідно будівлі. Характер тепловтрат через огороджувальні конструкції наступний: стіни ~ 30%; покрівля, стеля ~ 14%; підлога ~ 12%; вікна ~ 44%. Недосконалі конструкції вікон можуть викликати тепловтрати ~ до 40% [27]. Теплоізоляційні характеристики віконної конструкції визначаються: теплотехнічними показниками матеріалу віконного профілю (рами, стулки); теплотехнічними показниками склопакету (скла); технологією і якістю виготовлення вікна та монтажем. Вікна з високою теплоізоляцією, сприяють зменшенню втрати тепла в холодний період, що зменшує витрати на систему опалення і підтримку комфортної температури в будівлі. Значні енергозберігаючі властивості вікон досягаються за рахунок впровадження технологічних удосконалень.

Будівельними нормами [2] визначено класи енергоефективності вікон (від Д2 до А+++), які базуються на значеннях показників приведеного опору теплопередачі вікна. У будівельних нормах та стандартах [3, 6, 13, 19, 21 – 26, 30] окреслено вимоги: до проєктування, виробництва і встановлення віконних систем; до якості листів скла; стійкості до вітрових навантажень та усадки будівлі; лабораторного контролю зразків продукції; вимірювання звукоізоляційних характеристик вікон; впливу матеріалів на навколишнє середовище; характеристик матеріалів з’єднувальних швів.

Набором та якістю конструктивних, функціональних та габаритних елементів вікна, а також вартістю монтажу віконної конструкції та експлуатаційними витратами визначається ціна віконної конструкції. Ціна

віконної конструкції що є важливим критерієм при виборі вікон, особливо у будівлях бюджетного сегменту.

Безпека щодо вибору вікон проєктувальники найчастіше визначають з точок зору [6, 19, 23, 26]:

1. захисту приміщення від проникнення, оскільки вікна це елемент огороджувальної зовнішньої конструкції будівлі;
2. безпечної експлуатації віконних конструкцій, що включає використання спеціальних засобів блокування або обмежень руху віконних стулок. У житлових будівель це стосується запобіганню травматизму та можливості випадіння дітей з вікон і також безпечному використанню автоматичних вікон.

З початком повномасштабної війни в Україні стало актуальним питання безпеки приміщення з огляду на безпекову ситуацію в регіоні. Згідно статистичних даних [33] станом на червень 2023 року, загальна кількість зруйнованих або пошкоджених внаслідок бойових дій об’єктів житлового фонду становить близько 167200 будівель, з них 147800 — приватні будинки; 19100 — багатоквартирні та 350 гуртожитків. Забезпечення належного безпекового рівня накладає певні зміни у вимогах до проєктування житла та відповідно проєктування зовнішніх огороджувальних конструкцій будівель, з огляду на ризики та загрози, що можуть впливати на безпеку мешканців. Деякі з них, наприклад, зведення новобудов із бомбосховищами, наразі вже регулюватимуться будівельними нормативами.

Під час вибухів найчастіше від вибухової хвилі пошкоджуються вікна, адже їх основний елемент, скло, є досить крихким. За статистикою [33] серед постраждалих, що загинули або отримали поранення від осколків різних видів, 80% травм і смертей було саме від осколків скла, тобто сьогодення диктує ще один параметр безпеки віконних конструкцій це забезпечення стійкості віконної конструкції при дії вибухової хвилі.

Сьогодні є рекомендовані способи які використовують для підвищення безпечності існуючих вікон під час вибухової хвилі, але вони не підтверджені нормами жодними нормами [34-36], а саме:

- зменшити площу можливих уламків, розділивши вікно на малі ділянки (частково досягається заклеювання вікон скотчем або цупкою бавовняною тканиною), що може зменшити ризик розлітання;
- укріпити склопакет бронеплівкою;
- вікна на перших поверхах закрити фанерою, мішками з піском або із землею зовні по всій висоті.

Будівельні норми України сьогодні не мають методики підбору вікон або раціональних параметрів скління у житлових будівлях з врахуванням вторинних факторів вибуху. Але актуальність такого запиту підтверджують дані Корпорації Нерухомості [37] та виробники вікон [38]: покупці квартир у новобудовах звертають увагу на наявність поруч з житловим будинком об'єктів критичної інфраструктури, аеропортів, залізниць тобто об’єктів, які можуть бути потенційними цілями ворога. Окрім того, у регіонах розташованих у східній і південній частині України зменшився попит на пропозиції квартир з великими та панорамними вікнами [37].

Проаналізувавши фактори, що впливають на вибір конструкції вікна, можна виділити основні:

- забезпечення вимог до теплоізоляційних характеристик вікна та забезпечення вимог до енергоефективності будівлі;
- забезпечення архітектурної та естетичної привабливості будівлі;
- можливість забезпечити необхідну функціональність;
- забезпечення вимог до захищеності приміщення;
- забезпечення найбільш вигідної ціни вікна (максимального балансу «ціна-якість») ;
- забезпечення стійкості при вибуховій хвилі та у надзвичайних ситуаціях.

При прийнятті рішень щодо вибору віконної конструкції ці фактори можуть займати різні пріоритетні значення [39]. При вибору детальних характеристик та теплотехнічних параметрів вікна суттєвими показаними є:

- характеристики профілю, особливо товщина, ширина і матеріал;
- число повітряних камер;
- кількість склопакетів і їх властивості;
- тип ущільнювачів;
- якість і тип фурнітури.

1.3 Сучасні підходи до моделювання вибору раціональних параметрів віконних конструкцій

Вибір раціональних віконних конструкцій вимагає ретельного підходу, оскільки вибір геометричних розмірів, параметрів та характеристик вікна впливає на загальну енергоефективність та зовнішній вигляд будівлі, а також на зменшення споживання енергії. Ця тема висвітлена у роботах вітчизняних і зарубіжних науковців та практиків [7, 27, 31, 40 - 51].

У роботі [7] проаналізовано фактори, що впливають на енергоефективність світлопрозорих конструкцій, визначено їх вплив на теплотехнічні властивості зовнішньої стіни. Проведено детальний аналіз кожної групи факторів та визначено конструктивні особливості, кількісні та якісні характеристики, що ведуть до збільшення енергоефективних показників. У роботі [40] проведено системну оцінку теплових показників світлопрозорих огороджувальних конструкцій, досліджено вплив на тепловий режим світлопрозорих огороджувальних конструкцій сучасних багатоповерхових будівель. У роботі [45] наведено метод багатоцільової оптимізації конфігурації вікон та системи затінень, що покладений в основу розробленого програмного забезпечення для моделювання споживання енергії, як інтелектуальна підтримка прийняття рішень на ранніх етапах проєктування офісних будівель з великими розмірами вікон. Дана розробка

направлена на мінімізацію споживання енергії на опалення та охолодження для створення оптимального мікроклімату з врахуванням раціональних параметрів вікон.

У роботі [46] проведено огляд енергоефективності світлопрозорих елементів будівлі – «smart windows» (розумних вікон), які передбачають використання матеріалів, структура яких направлена на можливість динамічного контролю інтенсивності передачі сонячної радіації, залежно від кліматичних умов. Дослідження [47] присвячено застосуванню матеріалів для виготовлення склопакетів та рам, що підвищують енергоефективність вікон.

У роботі [51] розглянуто питання вибору оптимальних конструкцій світлопрозорих огороджувальних конструкцій громадської будівлі на етапі проєктування з точки зору організаційно – технологічних чинників. Вибір раціональної конструкції світлопрозорих огороджувальних конструкцій проводився за критеріями: складність виготовлення, маса, вартість конструкції, вартість виконання робіт, зручність монтажу, трудомісткість виконання робіт, середній розряд робітників. Оцінка критеріїв здійснювалась на основі експертного оцінювання за 10-бальною шкалою.

Суперечності розміру вікна виникають при одночасній оптимізації низького споживання енергії (малі розміри вікна) і візуального комфорту (великі розміри) розглянуто у роботі [48]. В ній обґрунтовано комбіновані критерії оптимізації, що застосовуються для визначення розмірів вікон при проєктуванні будівлі, а саме критерії оцінки споживання енергії та візуальних аспектів. Як критерії оцінки зорового комфорту використовували відблиски та рівномірність освітлення. При цьому взято до уваги енергоспоживання та освітленість для забезпечення відповідності вимогам та сертифікації. Для поточного аналізу обом критеріям було надано однакову важливість. Для того, щоб уникнути конфлікту, який виникає при оптимізації виключно для енергозбереження або комфорту, пропонуються межі для простору рішень, що відповідають обом вимогам. У роботі наведено результати застосування комп’ютерного моделювання на конкретному прикладі.

Проаналізовані методи та моделі не враховують показник безпеки віконної конструкції, а саме захищеність населення у житлових будівлях від вторинних факторів вибуху. Тема безпеки вікон, як забезпечення стійкості при вибуховій хвилі, у надзвичайних ситуаціях представлена роботами вітчизняних і закордонних науковців [53 – 56] та вітчизняними та закордонними стандартами [60 – 63].

Роботи [52, 54, 56] присвячені питання вибухозахищеності вікон з ламінованим склом. У роботі [56] експериментально досліджували ударостійкість ламінованого скла. Результати показують, що для прошарку ламінованого скла, чим вища швидкість удару, тим сильніший ефект поглинання енергії. У роботі [54] проаналізовано процес динамічної реакції скла під навантаженням від вибуху за допомогою чисельного моделювання. Виявлено, що динамічну реакцію ламінованого скла можна розділити на два етапи: пружну деформацію скляного шару та пластичну деформацію проміжного шару. У роботах [52, 54] проаналізовано праці по моделювання динамічної реакції на вибух багатошарового скла та розглянуто розльоти скла після удару, процес розльоту скла, траєкторію польоту та дальність розкидання уламків скла важко точно передбачити.

У роботі [52] розглянуто питання вибухозахищеності вікон для покращення захисної здатності будівлі, змодельовано критичний заряд для подвійного ламінованого загартованого скла під час вибуху для встановлення вибухозахищених характеристик вікна з ламінованого скла. Також наведено отримані емпіричні формули для розрахунку критичного заряду для багатошарових вікон із трьома розмірами панелей, трьома товщинами скла та чотирма товщинами проміжного шару на різних відстанях (рис. 1.7). Режим руйнування багатошарового загартованого скла відповідно до розглянутого процесу класифіковано у табл. 1.1.

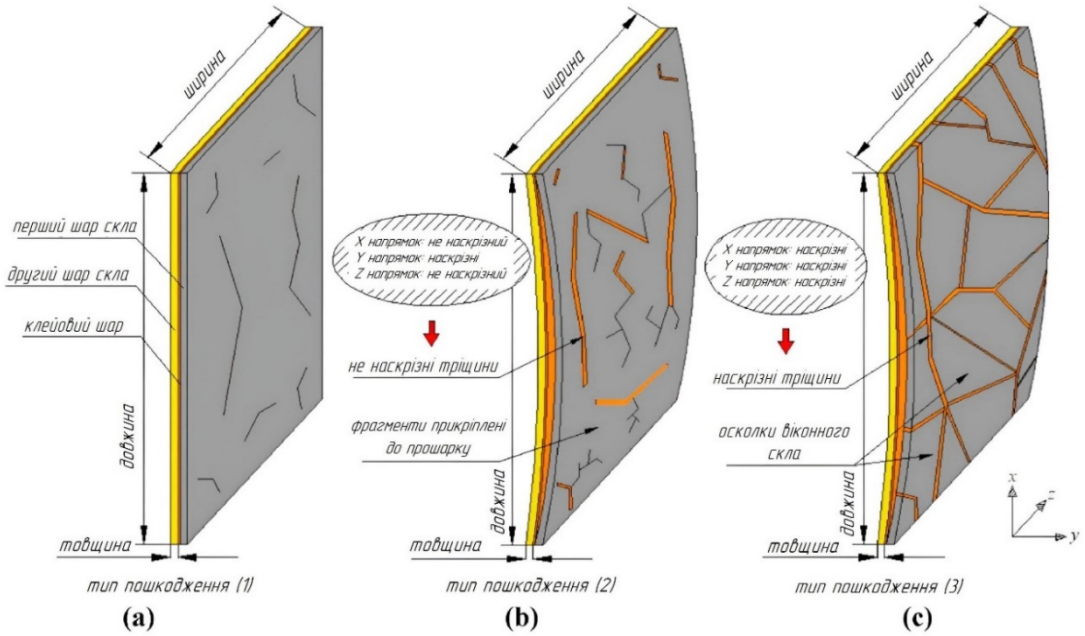


Рисунок 1.7 – Режим руйнування багатошарового загартованого скла: a – легкі пошкодження; b – помірне пошкодження; c – небезпечні ушкодження

Таблиця 1.1 – Режим руйнування багатошарового загартованого скла

Тип	Зміст пошкодження	Наслідки пошкодження
(1)	З дрібними тріщинами, але без наскрізних тріщин	Осколків скла немає
(2)	З радіальною наскрізною тріщиною, але без поздовжніх і горизонтальних наскрізних тріщин	Осколків скла немає
(3)	З радіальними наскрізними тріщинами, поздовжніми наскрізними і горизонтальними наскрізними тріщинами	Осколки скла є

Для подвійного ламінованого скла, коли кількість вибухонебезпечного речовини невелика, є лише кілька крихітних тріщин на першому та другому шарах скла. Більше того, для ламінованого скла немає сильної деформації вигину, що відповідає 1 типу пошкоджень (табл. 1.1) тобто легким (рис. 1a).

При збільшенні кількісті вибухової речовини на скляній пластині виникають радіальні (по вісі *y*) наскрізні тріщини, але тріщини не проходять поздовжньо (по вісі *x*) і горизонтально (по вісі *z*). Осколки скла не розлітаються в приміщення, а прилипають до прошарку. Це відноситься до типу пошкодження типу 2 (табл. 1.1), тобто помірного (рис. 1б). Коли кількість вибухової речовини є великою (рис. 1 с), на скляній пластині виникають радіальні (по вісі *y*) наскрізні тріщини, які також проникають поздовжньо (по вісі *x*) і горизонтально (по вісі *z*). Осколки скла у даному випадку будуть вилітати в приміщення без обмежень. Це відноситься до небезпечних ушкоджень 3 типу (табл. 1.1).

У роботі [55] для знаходження закономірності виникнення та поширення тріщин для кожної із запропонованих традиційних технологій скління інтегрували теорію руйнування крихкого матеріалу в моделі скінченних елементів. Робота [55] направлена на пошук моделі, що дозволяє при прийнятті рішення, об’єднати відповідні структурні, архітектурні та будівельні периметри.

Таким чином, можемо визначити, що тема проєктування вікон з врахуванням їх стійкості до вибухової хвилі є актуальною в Україні і у світі. Дослідження які проводились визначають слабкі місця вікон при ударних навантаженнях, описують специфічні моменти взаємодії вікна з вибуховою хвилею, визначають методи перевірки вибухостійкості. Але моделей та методик, які б дозволили би врахувати ступінь стійкості вікон до вибухової хвилі, ризики уражень внаслідок дії вибухової хвилі на вікна приміщення в житлових будівлях, на сьогодні в Україні відсутні.

1.4 Аналіз математичних методів для розробки моделі прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій

Під прийняттям рішень розуміється особливий процес людської діяльності, спрямований на вибір найкращого варіанта. При прийнятті рішень

людина аналізує різні варіанти (альтернативи) та обирає той, який, на її думку, буде найбільш ефективною або оптимальною в даній ситуації.

Прийняття рішень можливо на підставі знань про об’єкт управління, процеси, що в ньому відбуваються і можуть відбутися з перебігом часу, а також за наявності множини показників, що характеризують ефективність та якість прийнятого рішення. Специфіка прийняття рішень полягає в тому, що для переважної більшості рішень не можливо точно розрахувати і оцінити наслідки, а можна лише припускати, що певний варіант рішення призведе до найкращого результату.

Аналіз математичних методів для розробки моделі прийняття рішень при виборі параметрів віконної конструкції може включати такі підходи та методи, що застосовуються для оптимізації цих параметрів.

Методи оптимізації можуть бути використані для пошуку оптимальних значень параметрів віконної конструкції, що максимізують бажані характеристики та мінімізують небажані. Методи оптимізації можуть включати градієнтні методи, методи еволюційної оптимізації, методи імітації відпалу, генетичні алгоритми та інші, залежно від складності задачі та кількості обмежень.

Метод аналізу чутливості може бути використаний для дослідження впливу зміни параметрів віконної конструкції на різні критерії, такі як теплопередача, енергоефективність, освітлення тощо. Це дозволяє визначити найбільш важливі параметри та їх вплив на кінцевий результат.

Методи аналізу даних можуть бути використані для моделювання та прогнозування характеристик віконної конструкції на основі раніше зібраних даних або експертних оцінок.

Багатокритеріальний аналіз може бути використаний для врахування кількох критеріїв прийняття рішень одночасно (наприклад, енергоефективність, естетика, звукоізоляція тощо) та пошук компромісного рішення, яке задовольняє різні критерії на найкращому рівні.

Моделювання експертних знань може бути застосовано для створення моделей, які враховують нестабільність деяких параметрів та допомагають у вирішенні задачі оптимізації.

Прийняття рішень в умовах невизначеності має істотний аспект, пов'язаний з: нечітким баченням мети вибору; нечіткими оцінками альтернатив; нечіткими оцінками критеріїв; нечіткими оцінками відношення переваги альтернатив. Апарат теорії нечітких множин знайшов розвиток у роботах багатьох дослідників, в тому числі і у будівництві і сьогодні містить різноманіття підходів до технологій прийняття рішень на основі нечіткої інформації.

Перераховані методи дозволяють систематизувати та математично описати процес прийняття рішень щодо вибору параметрів віконної конструкції, забезпечуючи аналіз різних аспектів та критеріїв для прийняття обґрунтованих рішень.

Прийняття рішення при виборі раціональних розмірів і параметрів віконних конструкцій у приміщеннях житлових будівель, розглянемо як пошук найкращого варіанту із набору альтернатив. Альтернатива – варіант віконної конструкції.

Поставлена задача прийняття рішення вибору раціональних віконних конструкцій, має враховувати комплекс основних актуальних вимог енергоефективність, функціональність, економічність та безпеку вікна від дії вторинних факторів вибуху (осколків) тощо, а також оцінювати важливість (вагу) кожного фактору.

Математичний інструмент, який використовується для прийняття рішень при порівнянні між двома або більше альтернативами - метод аналізу ієрархій – метод Сааті [65]. Цей метод допомагає визначити відносну важливість або перевагу одного варіанту над іншими шляхом попарного порівняння. Основна ідея полягає в тому, що ви порівнюєте кожен елемент з іншими елементами один по одному, присвоюючи їм числові оцінки або ранги відповідно до їхньої відносної важливості або переваги.

Наприклад, якщо у нас є набір варіантів *A, B, C і D*, ми можемо порівняти їх за такими критеріями, як якість, вартість, функціональність тощо. Для кожного критерію ми можемо визначити математичними залежностям, або експертно порівняти варіанти попарно за цим критерієм і присвоїти оцінки, наприклад, від 1 (найнижча важливість) до 5 (найвища важливість).

Після того, як отримані всі порівняння, можна скористатися різними методами для обробки цих даних, наприклад, можна обчислити середнє значення кожної альтернативи, порівнявши її з усіма іншими. Це допоможе визначити, яка альтернатива має вищий загальний рейтинг або пріоритет відносно заданих критеріїв.

Метод парних порівнянь також може бути використаним при прийнятті рішень, коли потрібно враховувати багато критеріїв та альтернатив, і коли важко визначити їхню відносну важливість без прямого порівняння один з одним. Процес застосування методу парних порівнянь може включати такі етапи:

- *Визначення альтернатив.* Спочатку визначаються альтернативи, які потрібно порівняти між собою. Альтернативами можуть бути віконних конструкцій з різними параметрами*(A1, A2, A3, A4*.)
- *Встановлення критеріїв оцінки (y1, y2, y3).* Визначити список факторів (критеріїв), які будуть важливі при виборі. Це може бути енергоефективність, вартість, дизайн, технічні характеристики тощо.
- *Створення матриці парних порівнянь.* Пари альтернатив порівнюються, і для кожної пари встановлюється ступінь важливості або переваги одного варіанту над іншим. Оцінки можуть бути числовими значеннями або відносними шкалами (наприклад, "дуже важливий", "помірний", "менш важливий").
- *Обчислення вагових коефіцієнтів.* На основі матриці порівнянь обчислюються вагові коефіцієнти для кожної альтернативи, що відображають загальну важливість чи перевагу кожної з них.

- *Обчислення інтегрального показника* кожної альтернативи з врахування вагових коефіцієнтів.
- *Прийняття рішення.* Порівняння результатів оцінки для кожної альтернативи. За допомогою отриманих вагових коефіцієнтів приймається рішення щодо вибору найбільш переважної альтернативи.

Провівши аналіз методів для розробки моделі прийняття рішень при виборі параметрів віконної конструкції раціонально використовувати метод парних порівнянь.

1.5 Задачі дослідження

Задача визначення раціонального варіанту вікон є частиною фундаментальних рішень на стадії проєктування, які важко змінити пізніше. Дане рішення має суттєвий вплив енергоефективність будівлі (теплотехнічні характеристики), освітлення, звукоізоляцію, естетику приміщення та безпеку людей які перебувають у приміщенні.

Вибір конструктивних і технічних елементів (детальний підбір матеріалу та типу вікна, фурнітури тощо) на сьогодні є визначним і автоматизованим. Виробники вікон можуть швидко прорахувати різні варіанті віконних конструкцій за теплотехнічним характеристиками, якістю матеріалів, наявністю функціональних елементів вікон і вартістю. Але моделі і методики прийняття рішень щодо вибору раціонально варіанту вікна з врахуванням енергоефективності, ціни, функціональності, архітектури та естетики, а також захищеності на сьогодні не існує. Найчастіше рішення приймаються спираючись на досвід та знання проєктувальників і поради виробників вікон.

Безпека житла є життєвою потребою кожної людини і актуальною сьогодні для кожного регіону України. Статистичні дані [33, 57] свідчать, що велика кількість людей при вибуху має ураження осколками скла від розльоту

віконних конструкцій, які спричиняють механічне пошкодження м’яких тканей людини, тому дана тема має як теоретичний, так і прикладний характер.

Наряду з важливими вимогами для огороджувальних конструкцій таких як енергоефективність, звукоізоляція, естетика приміщення, надійність конструкції має бути безпека людини. Сьогодні є окремі роботи і розробки, моделі, які присвячені аналізу і проєктування щодо стійкості вікон до вибуху. На рівні будівельних норм і правил України є частково запроваджені нормативи, що імплементовані з європейських норм, але бракує сертифікованих лабораторій для досліджень вибухостійкості віконних конструкцій. Відсутні методики, яка б визначали та прогнозували забезпечення вибухової стійкості світлопрозорих елементів зовнішньої оболонки будівлі. Існують декілька методів перевірки вибухостійких властивостей фасадів, вікон, дверей, наприклад, експериментальні методи, чисельні методи, інженерні підходи та емпіричні методи, що визначені переважно у закордонних роботах. Напрямок розв’язання проблеми максимального захисту населення у приміщеннях від вторинних чинників вибуху (осколків) можливий за рахунок обґрунтування раціональних параметрів вікон при проєктуванні будівлі.

При прийнятті рішень щодо раціонального варіанту віконних, конструкцій пропонується розглядати не задачу оптимізації параметрів вікна, а задачу вибору віконних конструкцій із певної кількості доцільних варіантів. Вибір віконної конструкції при проєктуванні будівлі можна розділити на два етапи:

1. Вибір альтернативних варіантів вікон – за розмірами, параметрами вікон, конструктивними, технічними, функціональними характеристиками.
2. Знаходження раціонального варіанту із альтернатив з врахуванням низки критеріїв: типу будинку, його розташування, необхідної енергоефективності, ціни, безпекової ситуації тощо.

Мета роботи – розробка моделі та алгоритму обґрунтування прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель на основі

багатокритеріального аналізу факторів впливу, що забезпечить баланс між архітектурними, енергоефективними, економічними та безпековими аспектами та підвищить якість проєктних рішень.

Задачі дослідження:

1. Дослідити як зміна розміру віконного прорізу впливає на приведений опір теплопередачі зовнішньої стіни, який є основним показником її теплоізоляційних характеристик.
2. Формалізувати критерії та фактори, що впливають на прийняття рішення щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель з врахуванням стійкості віконної конструкції до дії вторинних факторів вибуху та безпекової ситуації.
3. Розробити інтегральну модель вибору віконних конструкцій житлових будівель, що забезпечує комплексне та збалансоване обґрунтування прийняття рішень з врахуванням окрім традиційних теплотехнічних, економічних та архітектурних чинників, ще і рівня безпекової ситуації. Математична модель повинна забезпечувати оптимальний вибір при кількісних, якісних та бінарних початкових даних.
4. Розробити модель, що визначить важливість врахування безпекової ситуації при виборі віконних конструкцій житлових будівель.
5. За розробленими моделями на прикладах провести вибір віконних конструкцій та провести аналіз чутливості розроблених моделей до цільової аудиторії (будівель різного класу комфортності).
6. Запропонувати методику обґрунтування прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій із альтернативних варіантів проєктних рішень та надати рекомендації щодо підвищення захисту віконних конструкцій при дії вибухової хвилі.

1.6 Висновок до розділу 1

У першому розділі розглянуто об’єкт дослідження – процес обґрунтування прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій при

проєктуванні житлових будівель. Проаналізовано особливості застосування та проєктування віконних конструкцій. Класифіковані основні характеристики та параметри вікон житлових будівель. Визначено підходи до вибору вікон, як елементів зовнішньої огороджувальної конструкції будівлі. Проаналізовано методи та моделі направлені на пошук раціональних проєктних рішень улаштування світлопрозорих огороджувальних конструкцій.

Зосереджено увагу на розгляді факторів, що впливають на оцінку вибухозахищеності вікна та покращення захисної здатності віконної конструкції. Проаналізовано способи захисту існуючих вікон від дії вибухових хвиль.

Обґрунтовано актуальність розгляду питання проєктування раціональних віконних конструкцій на основі багатокритеріального аналізу з врахуванням безпекового фактору для забезпечення стійкості вікон при дії вибухової хвилі. Визначено, що будівельні норми України визначають вимоги щодо проєктування і улаштування вікон без врахування безпекової ситуації та оцінки стійкості конструкцій до дії вибухової хвилі. Методики вибору раціональних параметрів світлопрозорих конструкцій будівлі (в тому числі вікон) з врахуванням захищеності населення у житлових будівлях від вторинних факторів вибуху на сьогодні в ДБН не має.

Визначено задачі дослідження що спрямовані на розробку моделі та алгоритму обґрунтування прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель на основі багатокритеріального аналізу факторів впливу.

Результати розділу опубліковано в роботах здобувача [7, 8, 19, 35, 44].

РОЗДІЛ 2
ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІКОННОЇ КОНСТРУКЦІЇ

2.1 Формалізація критеріїв вибору розміру віконної конструкції

Задача вибору вікон є частиною фундаментальних рішень на стадії проєктування. Прийняте рішення про вибір віконної конструкції, має суттєвий вплив на енергоефективність приміщення, на характеристики систем опалення та вентиляції, освітлення, звукоізоляцію та естетику приміщення, а також на безпеку людей, що перебувають у приміщенні. Проєктування віконних конструкцій у житлових будівлях регламентується ДБН та ДСТУ [1-6, 18, 20-26], але методики вибору раціонального варіанту із множини варіантів рішень на сьогодні немає.

Для розробки моделі прийняття рішення при виборі раціонального варіанту віконної конструкції необхідно визначити та формалізувати фактори, що впливають на прийняття такого рішення.

Аналіз технічної документації, будівельних норм та наукових розробок, що викладений у розділі 1 та досвід проєктантів – архітекторів і конструкторів, свідчить, що при проєктуванні вікон будівлі враховують:

– вимоги ДБН та ДСТУ [1-6, 18, 20-26] щодо призначення приміщення: наприклад, дотримання мінімального нормативного термічного опору зовнішньої огороджувальної конструкції, базовий рівень звукоізоляції; забезпечення нормативного рівня освітленості та вентиляції приміщень, забезпечення норм у відкриванні та закриванні вікон тощо;

– фінансові можливості замовника і технічні можливості виробника. Проєкт віконних конструкцій має бути технічно реалізований без порушення конструкції будівлі і узгоджуватись з бюджетом замовника, наприклад: при розробці проєкту можна обрати варіант вікна з шести камерним профілем ПВХ, що надає кращу тепло- та звукоізоляцію, забезпечує високий рівень комфорту та енергоефективності, але замовник має обмежений бюджет, тому

в проєкті у пріоритеті будуть віконні конструкції, що забезпечують базовий рівень вимог – трикамерний або п’ятикамерний профіль ПВХ (бюджетний варіант);

– архітектурні обмеження та естетичні вимоги визначають, що вікна мають гармонічно співвідноситись з архітектурним стилем будівлі, дотримуючись її естетичних характеристик, забезпечувати вимоги до приміщення. Наприклад, якщо будівля є частиною історичного центру міста або культурного спадку, в цьому випадку важливими є обмеження щодо зовнішнього вигляду вікон; або якщо замовник вважає максимально зберегти приватність приміщення, то не раціонально буде використовувати в проєкті панорамні вікна, які знижують приватність приміщення;

– ситуаційні обмеження та вимоги. До яких віднесемо кліматичні обмеження за місцем розташування та взаємне розташування об’єкта будівництва по відношенню до інших об’єктів. Наприклад, розташування будівлі поблизу потенційно небезпечних регіонів (зони бойових дій) або наявність поблизу проєктуємого об’єкта декількох об’єктів стратегічної або критичної інфраструктури, визначає підвищення заходів безпеки огороджувальної конструкції будівлі, в тому числі, віконних конструкцій, тому в цьому випадку пріоритетом для замовника буде використання вікон з підвищеними характеристиками стійкості, з невеликими розмірами шибок та спеціальною фурнітурою.

На основі проведеного огляду та аналізу особливостей процесу проєктування та вибору раціонального варіанту віконної конструкції, критерії вибору пропонується згрупувати у такі категорії:

- *y1* – енергоефективність;
- *y*2 – архітектурна привабливість вікна та функціональність;
- *y*3 – ринкова ціна (вартість);
- *y*4 – захист вікна від злому і проникнення;
- y5 – стійкість до вибухової хвилі – безпека (захищеність) від вторинних факторів вибуху.

Кожний критерій, що впливає на прийняття рішення складається з факторів, які в свою чергу впливають на оціночну характеристику відповідного критерія.

2.2 Енергоефективність

Енергетична ефективність будівель є одним із пріоритетних завдань при проєктуванні, що визначено на законодавчому рівні [4, 5, 67, 68]. Теплоізоляційна оболонка будівлі суттєво впливає на її енергетичні параметри. Кожен елемент теплоізоляційної оболонки є важливим при розрахунку теплотехнічних характеристик зовнішніх огороджувальних конструкцій і впливає на загальне значення енергетичної ефективності будівлі [5, 41, 42, 67, 68].

2.2.1 Обчислювальний експеримент щодо впливу розміру віконної конструкції на енергоефективність теплоізоляційної оболонки

Розмір і параметри, характеристики вікон впливають на теплові втрати і теплонадходження в приміщенні, через зовнішні огороджувальні конструкції [4, 5, 68]. Кількість та розташування світлопрозорих конструкції може суттєво впливати на приведений термічний зовнішньої стіни [40, 73]. Через стандартні рішення витрачається від 20% -25% енергії на опалення для індивідуальних будинків, тепловтрати квартири досягають до 40% для багатоквартирних будинків, а при суцільному фасадному склінні до 60%. Енергоефективні рішення світлопрозорих конструкцій можуть у 2-3 рази скоротити ці втрати, тобто є суттєвий потенціал енергозбереження в результаті реалізації енергоефективних проєктів [72].

Вимоги щодо енергоефективності при проєктуванні світлопрозорих елементів зазначено у нормах та стандартах з будівництва [1, 4, 5 , 67, 68]. За даними [73] вікно з класом енергоефективності «А» приблизно на 50% краще утримує тепло взимку за вікно з класом енергоефективності «С» (нормативний клас). А вікно класу «Е» на приблизно 40% більше втрачає за норму (клас С). Тобто вікно класу «А» у 2,5 рази менше втрачає енергії на опалення, ніж вікно

класу «Е», а відтак зменшує комунальні витрати. Класи енергоефективності базуються на значеннях показників приведеного опору теплопередачі. Віконним блокам з показником нижче 0,35 $м^2 \cdot °С/Вт$ клас не присвоюють.

При визначені енергоефективності вікон (світлопрозорих конструкцій) на стадії проєктування враховують такі фактори [27, 28, 72] :

– температурна зона, що визначається місцем розташування об’єкту;
– розміри та тип вікна;
– орієнтація зовнішнього огородження (світлопрозорої конструкції) за сторонами світу;
– матеріал і конструкція вікна: матеріал та вид профілю, профільні системи, камерність склопакету та енергоефективність шарів скла, дистанційна рамка, кількість стулок;
– повітропроникність.

Перераховані показники, задаються при автоматизованому розрахунку у Енергокалькуляторі вікон [72]. Приклад результату розрахунку енергоефективності вікна представлено на рис. 2.1 [72].

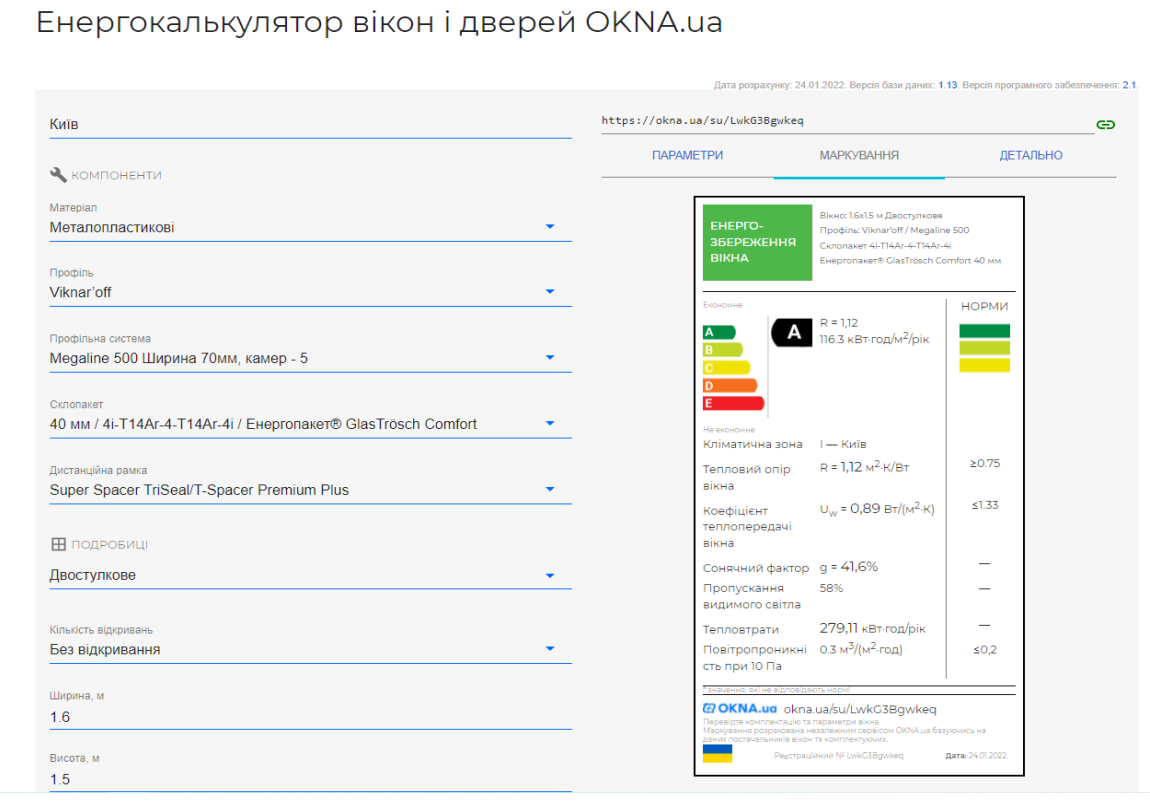


Рисунок 2.1 – Приклад результатів розрахунку енергоефективності вікон

Розрахунки за енергокалькулятором вікон підтверджені державним інститутом ДП «Український науково-дослідний і проєктно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів НДІБМВ». Відповідно до вихідних даних розраховуються технічні та енергетичні характеристики вікна і визначається опір теплопередачі вікна (рис. 2.1) та встановлюється клас енергоефективності вікна (А, В, С, Д, Е).

Розмір віконної конструкції впливає не тільки на енергоефективність вікна, а ще й на енергоефективність теплоізоляційної оболонки будівлі (приведений термічний опір зовнішньої конструкції). Конструктивне рішення непрозорої огороджувальної конструкції відповідно до будівельних норм [4, 5] передбачає обов'язкове виконання умови:

$$R_{\Sigma np} \geq R_{q\min} \ , \tag{2.1}$$

де $R_{\Sigma np}$ – приведений опір теплопередачі непрозорої огороджувальної конструкції чи непрозорої частини огороджувальної конструкції або приведений опір теплопередачі світлопрозорої огороджувальної конструкції, м^2 ·К/Вт;

$R_{q\min}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огороджувальної конструкції, мінімальне значення опору теплопередачі світлопрозорої огороджувальної конструкції, м^2·К/Вт.

Відповідно до норм [5] при застосуванні системного принципу проєктування енергоефективних огороджувальних конструкцій важливо також виконання санітарно-гігієнічних вимог та вимог теплової надійності, які визначені умовами:

$$\Delta\theta_{\text{int}-si} \geq \Delta\theta_{\text{int}-si,max} \tag{2.2}$$

$$\theta_{tb,si,\min} = \theta_{si,\min}, \tag{2.3}$$

де $\Delta\theta_{\text{int}-si}$ – різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції за внутрішніми розмірами, °С;

$\Delta\theta_{\text{int}-si,max}$ – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції за внутрішніми розмірами, °С;

$\theta_{tb,si,\min}$ – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огороджувальній конструкції, °С;

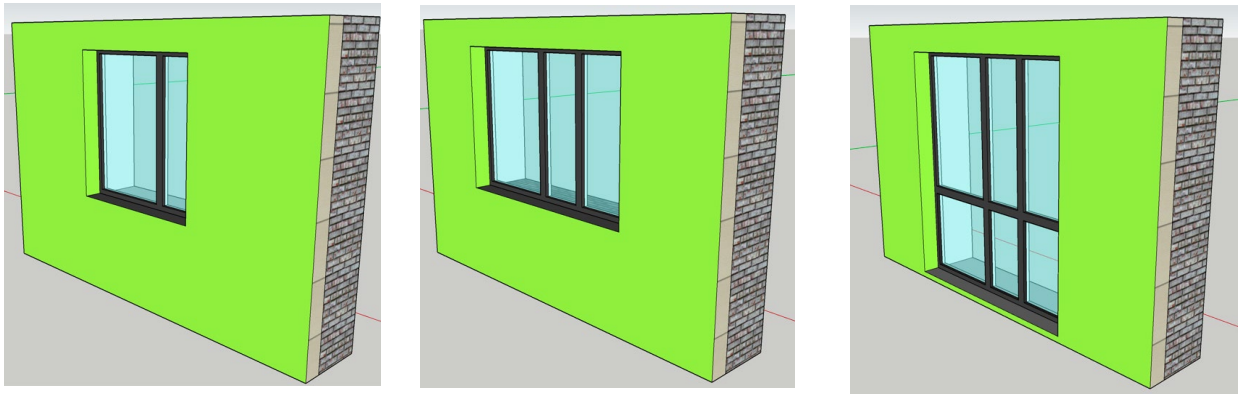
$\theta_{si,\min}$ – мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього й зовнішнього повітря, °С.

На значення $R_{\Sigma np}$ приведеного опору теплопередачі зовнішньої стіни впливає розмір віконної конструкції та теплопровідні включення (лінійні і точкові).

Для аналізу впливу розміру віконної конструкцій на приведений опір непрозорої частини огороджувальної конструкції обрано фрагмент конструкції розміром 2,7 м х 4,10 м з фасадною теплоізоляцією опорядженням штукатуркою в межах одного поверху зовнішньої стіни будівлі м. Вінниці (I температурна зона).

Несуча частина стіни виконана на основі кладки з цегли глиняної звичайної $\gamma = 1800$ кг/м^3, $\delta = 510$ мм. Утеплення зовнішніх стін мінераловатними плитами $\delta = 180$ мм, $\lambda = 0{,}04$ Вт (мхК). Мінераловатні плити кріпляться до несучої стіни за допомогою клеєного шару та пластикових дюбелів з металевим стрижнем. Кількість дюбелів з розрахунку 8 шт. на 1 м^2. З внутрішньої сторони зовнішніх стін влаштована цементно-піщана штукатурка δ=20 мм. Для аналізу впливу розміру віконної конструкцій розглянемо варіанти фрагменту фасаду з різними розмірами віконний прорізів:

- 1,50 м х 1,50 м (стандартне вікно) рис. 2.2 а;
- 2,20 м х 1,50 м рис. 2.2 б;
- 2,20 м х 2,40 м (панорамне вікно) рис. 2.2 в.



а) б) в)

Рисунок 2.2 – Фрагмент стіни, що розглядається для розрахунку приведеного термічного опору:

а) вікно 1,50 х 1,50 м ; б) вікно 2,20 х 1,50 м; в) вікно 2,20 х 2,40 м.

Опір теплопередачі зовнішньої стіни [5]:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_{i=1}^{h} \frac{\delta_i}{\lambda_{inp}} + \frac{1}{\alpha_{3}}, \qquad (2.4)$$

де δ_i – товщина і-го шару зовнішніх стін, м;

λ_{inp} – розрахункова теплопровідність матеріалу і-го шару зовнішніх стін в розрахункових умовах, Вт/(м·К).

$\alpha_{в}, \alpha_{з}$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огороджувальної конструкції, Вт/(м^2·К), приймають згідно з [5]: $\alpha_{в} = 8,7$ Вт/(м^2·К); $\alpha_{з}$ = 23 Вт/(м^2·К).

Характеристики шарів стінової конструкції :

внутрішньої штукатурки δ_1 = 0,02 м, λ_1 = 0,93 Вт/(м·К);

цегляної кладки δ_2 = 0,510 м, λ_2 = 0,81 Вт/(м·К) ;

мінераловатних плит ROCKWOOL δ_3 = 0,18 м, λ_3 = 0,04 Вт/(м·К) ;

зовнішньої опоряджувальної штукатурки δ_4 =0,005 м, λ_4 =0,7Вт/(м·К).

Тоді,

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,02}{0,93} = 0,0215 м^2 К / Вт. \qquad R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,510}{0,81} = 0,629 м^2 К / Вт.$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,18}{0,04} = 4,5 м^2 К / Вт. \qquad R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0,005}{0,7} = 0,007 м^2 К / Вт.$$

За формулою (2.4) маємо опір теплопередачі зовнішньої стіни

$$R_\Sigma = 0,115 + 0,0215 + 0,629 + 4,5 + 0,007 + 0,043 = 5,316 \ м^2 К / Вт.$$

Приведений термічний опір непрозорої частини огороджувальних конструкцій [5]:

$$R_{\Sigma np} = \frac{F_\Sigma}{\sum\limits_{i=1}^{l} \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum\limits_{j=1}^{J} K_j L_j + \sum\limits_{k=1}^{k} \psi_k N_k}, \qquad (2.5)$$

де F_Σ – площа непрозорої частини огороджувальної конструкції, м^2;

$R_{\Sigma i}$ – загальний опір теплопередачі огороджувальної багатошарової конструкції, м^2°С/Вт;

К – лінійний коефіцієнт теплопередачі теплопровідного включення, Вт (мхК);

Ψ – точковий коефіцієнт теплопередачі, Вт (м х К);

L – протяжність теплопровідного включення, м.

Площі непрозорої частини огороджувальної конструкції розраховано у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок площ для розрахунку

Фрагмент стіни	Площа стіни загальна, м^2	Площа вікна, м^2	Площа непрозорої частини огороджувальної конструкції, F_Σ м^2
Рисунок 2.3а	2,7х4,1 =11,07	1,50х1,50=2,25	8,82
Рисунок 2.3б	2,7х4,1 =11,07	2,20х1,5=3,3	7,77
Рисунок 2.3в	2,7х4,1 =11,07	2,20х2,40=5,28	5,79

На фрагментах, що розглядаються (рис. 2.2), присутні наступні теплопровідні включення, що відносяться до непрозорої огороджувальної конструкції:

- відкоси віконного прорізу в зоні надвіконної перемички, підвіконня, рядового примикання – лінійні елементи;
- дюбелі для кріплення мінераловатних плит – точкові елементи.

Для вказаних теплопровідних включень визначено кількісні показники та характеристики лінійних та точкових коефіцієнтів теплопередачі. Дані розрахунку теплопровідних включень зведені у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Теплопровідні включення та їх кількісне вираження

Найменування теплопровідного включення	Протяжність L, м	Кіль-кість	Лінійний коефіцієнт теплопередачі К, Вт (м х К)	Точковий коефіцієнт теплопередачі Ψ, ,Вт(м х К)
Віконний відкос в зоні перемички				
рис.2.3а	1,50	1	0,081	
рис.2.3б	2,20	1	0,081	
рис.2.3 в	2,20	1	0,081	
Віконний відкос в зоні підвіконня				
рис.2.3а	1,50	1	0,064	
рис.2.3б	2,20	1	0,064	
рис.2.3 в	2,20	1	0,064	
Віконний відкос в зоні рядового примикання				
рис.2.3а	1,50	2	0,071	
рис.2.3б	1,50	2	0,071	
рис.2.3 в	2,40	2	0,071	
Дюбелі для кріплення підвіконних плит				
рис.2.3а		71		0,005
рис.2.3б		62		0,005
рис.2.3 в		46		0,005

Результат розрахунку за формулою (2.5) стандартного вікна (рис. 2.3 а):

$$R_{\Sigma пр} = \frac{8,82}{\frac{8,82}{5,156} + (1,5 \times 0,081 + 1,5 \times 0,064 + 1,5 \times 0,071 \times 2) + (71 \times 0,005)} = 3,6, м^2 К / Вт.$$

Результати розрахунку приведеного опору непрозорої частини огороджувальної конструкції $R_{\Sigma np}$ з різними розмірами віконний прорізів за зведено у таблицю 2.3.

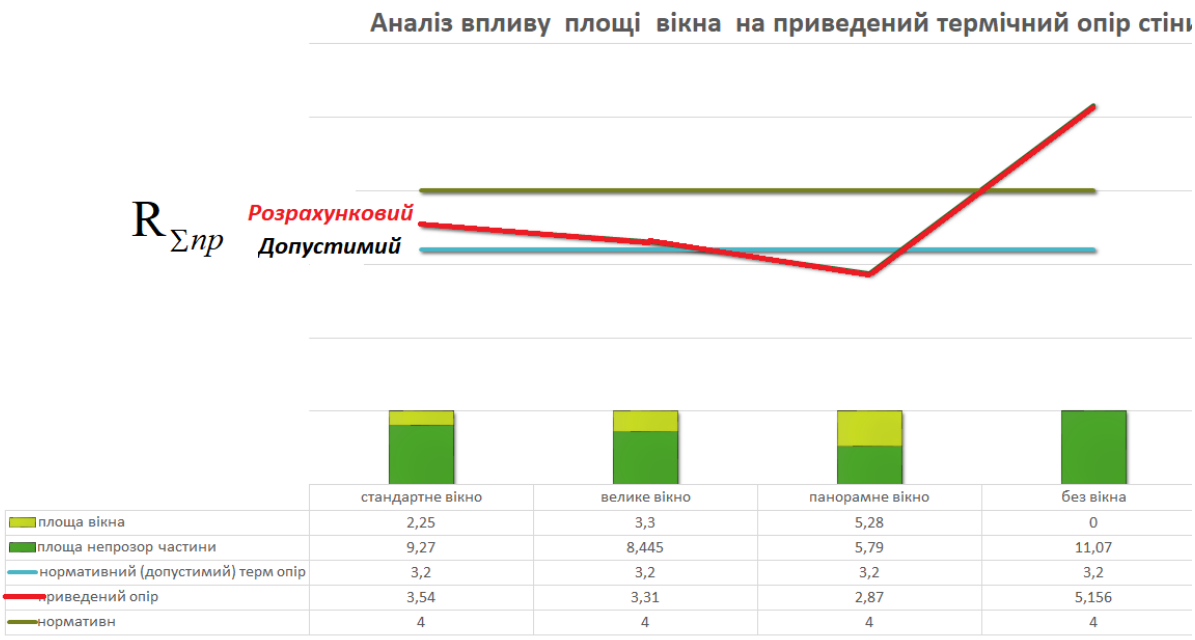
Таблиця 2.3 – Таблиця розрахунку приведеного опору теплопередачі

Фрагмент стіни загальна площа фасаду стіни $F = 11,07 м^2$	$R_{\Sigma np}\ м^2К/Вт$, (формула 2.5)	Виконання умови (2.1) $R_{\Sigma np} \geq R_{q\min}\ м^2К/Вт$
стандартне вікно, площа непрозорої частини $F_{\Sigma} = 8,82 м^2$ (рис. 2.3 а)	3,60	Умова виконана, при дотриманні санітарно-технічних вимог та вимог теплової надійності (згідно п. 5.2.1 ДБН [5])
велике вікно, площа непрозорої частини $F_{\Sigma} = 7,77 м^2$ (рис. 2.3 б)	3,31	Умова виконана, при дотриманні санітарно-технічних вимог та вимог теплової надійності (згідно п. 5.2.1 ДБН [5])
Панорамне вікно, площа непрозорої частини $F_{\Sigma} = 5,79 м^2$ (рис. 2.3 в)	2,87	Умова (2.1) не виконана

Примітка п. 5.2.1 ДБН [5]: При застосуванні системного принципу проєктування відповідно допускається застосовувати огороджувальні конструкції із зниженими значеннями нормативного приведеного опору теплопередачі до рівня 80 % від *R qmin (0,8 x 4,0 = 3,2 $м^2К/Вт$)* при цьому повинні виконуватись умови за формулою (2.1), при обов'язковому виконанні для цих елементів теплоізоляційної оболонки умов за формулами (2.2) та (2.3).

Порівняння результатів приведеного опору теплопередачі $R_{\Sigma np}$ непрозорої частини огороджувальної конструкції з віконними прорізами різних розмірів наведено на рис. 2.3. На рис. 2.3 видно, що при однакових теплотехнічних характеристиках конструкції стіни, але різних розмірах

віконного прорізу приведений опір теплопередачі непрозорої частини огороджувальної конструкції може суттєво змінюватись.



	стандартне вікно	велике вікно	панорамне вікно	без вікна
площа вікна	2,25	3,3	5,28	0
площа непрозор частини	9,27	8,445	5,79	11,07
нормативний (допустимий) терм опір	3,2	3,2	3,2	3,2
приведений опір	3,54	3,31	2,87	5,156
норматив	4	4	4	4

Рисунок 2.3 – Порівняння приведеного опору теплопередачі зовнішньої стіни залежно від розміру вікна

В наведених розрахунках опір теплопередачі зовнішньої стіни без віконних прорізів значно вище нормативного. Але коли площа вікна займає значну площу фасаду приміщення (панорамне вікно рис. 2.2 в), тоді приведений опір теплопередачі має значення нижче допустимого за нормами [5] – умова (2.2) не виконується. Методика для розрахунку приведеного термічного опору теплопередачі [5] за формулами (2.1) та (2.5) не регламентує чітко який фрагмент стіни необхідно розглянути для розрахунку. Наведений розрахунок свідчити, що для однієї будівлі при однакових теплотехнічних характеристиках конструкції стіни для різних ділянок стіни (фрагментів) приведений опір теплопередачі непрозорої частини огороджувальної конструкції може суттєво відрізнятись. На рис. 2.3 видно, що у одній будівлі є частина приміщень, де приведений опір теплопередачі зовнішньої стіни відповідає виконанню нормативної вимоги (2.1), а у частині приміщень (де є панорамне вікно) приведений опір теплопередачі зовнішньої стіни буде не

відповідати умові (2.1). У нормативній методиці розрахунку приведеного термічного опору теплопередачі не визначено, який фрагмент фасаду зовнішньої стіни потрібно використати для розрахунку проєктного значення опору теплопередачі зовнішньої стіни.

Висновок: визначення фрагменту зовнішньої стіни, яке необхідно прийняти для розгляду щодо розрахунку приведеного опору теплопередачі зовнішньої стіни є слабким місцем нормативної методики розрахунку визначення приведеного опору теплопередач [5], що може бути важливим при визначенні енергоефективності будівлі та приміщень. Аналіз впливу розміру вікон на приведений термічний опір зовнішньої стіни також визначено в роботах автора [7, 42, 69].

2.2.2 Енергоефективність як критерій вибору віконних конструкцій

З представленого обчислювального експерименту видно, що при виборі вікон будівлі для забезпечення її енергоефективності важливо враховувати не лише енергоефективність вікна, а і вплив розміру вікна на приведений термічний опір зовнішньої стіни будівлі. Зазначимо, що згідно ДБН [5] обов'язковим при визначенні теплоізоляційної оболонки (частиною якої є віконні конструкції) є виконання санітарно-гігієнічних вимог та вимог теплової надійності елементів теплоізоляційної оболонки за формулами (2.2) та (2.3). На основі аналізу нормативних вимог та проведеного аналізу впливу розміру вікон на приведений термічний опір зовнішньої стіни, визначено що, критерій *y1* «Енергоефективність» є комплексним показником і визначається двома факторами впливу (рис. 2.4) :

X_{11} – Опір теплопередачі вікна (або енергоефективність вікна).

X_{12} – Приведений термічний опір зовнішньої стіни будівлі (приміщення).

Критерій *y1* «Енергоефективність» пропонується оцінювати:

- низький рівень;
- мінімальний рівень;

- середній рівень;
- високий рівень.

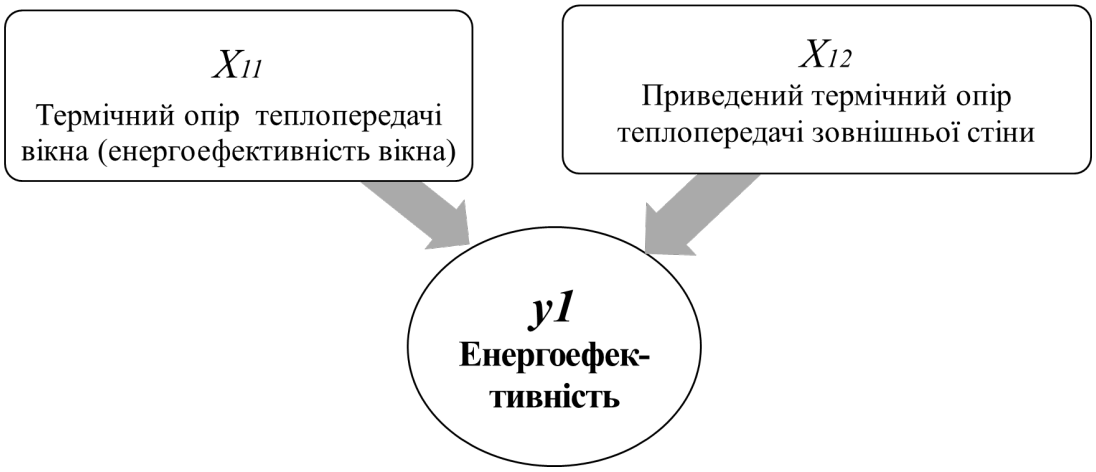


Рисунок 2.4 – Фактори, що визначають критерій *y1* «Енергоефективність»

Визначення критерія *y1* залежно від значень факторів X_{11}, X_{12} наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Оцінювання критерія y_1 за факторами X_{11}, X_{12}

y1	X_{11}	X_{12}
Низький рівень	X_{12} нижче мінімального рівня для даного приміщення не залежно від значення X_{11}	
Мінімальний рівень	відповідає мінімальному нормативному значенню R qmin (клас енергоефективності вікна Д або С).	допустимий згідно п. 5.2.1 ДБН: знижене значення нормативного приведеного опору теплопередачі до рівня 80 % від R qmin нормативного, при виконання умов (2.2) та (2.3).
Середній рівень	відповідають класу енергоефективності вікна В, С (в межах нормативних значень).	в межах нормативних, або відповідають класу енергоефективності зовнішньої стіни С.
Високий рівень	відповідають класу енергоефективності А, В (більше мінімально нормативних значень) .	вище нормативного значення, або відповідають класу енергоефективності В, А.

2.3 Архітектурна привабливість та функціональність

Віконні конструкції концептуально доповнюють та/або завершують архітектурний стиль та дизайн будівлі. Розташування вікон, їх розмір та пропорцій, форма, дизайн, ламінація профілю, вид та наявність фурнітури впливають на зовнішній вигляд фасаду і створюють образ будівлі, підкреслюють естетику.

У інтер'єрі віконні конструкції часто відіграють функцію візуального розширення житлового простору і освітлення а також впливають на ергономіку та приватність приміщення. Дизайн вікон урізноманітнюють за рахунок декорування склопакетів (вітражі, використання різних видів плівок). Важливим аспектом при виборі вікон є збереженість приватності приміщення. Особливо це актуально для приміщень з панорамними вікнами, які набули популярності у секторі житлового багатоповерхового будівництва. Велике скління приміщення дає широкий огляд не тільки мешканцям квартир, але і людям з вулиці тому, щоб позбутись від сторонніх поглядів використовують тонування для вікон, жалюзі або віконний текстиль.

Архітектурна привабливість віконної конструкції – це концепція, яка описує ступінь привабливості для користувачів. Ця оцінка базується на візуальних, естетичних та конструктивних аспектах віконної конструкції. Архітектурна привабливість є частково суб'єктивною та варіювати в залежності від індивідуальних потреб замовника будівництва. Враховуються такі складові:

- Естетика та дизайн. Враховує вигляд та красу архітектурного об'єкту, його форми, лінії, колір, текстури та взаємодію з оточуючим середовищем, унікальності архітектурного рішення, його здатність привертати увагу та відображати сучасні тенденції у дизайні.
- Функціональність. Включає гармонійні пропорції, використання високоякісних матеріалів конструкцій, які забезпечують надійність і

підвищують комфорт користування, а також наявні додаткові елементи які задовольняють функціональні потреби користувачів.

Віконні конструкції мають бути виконанні згідно з вимогами проєктної документації для будівництва, і відповідати технічним вимогам згідно ДСТУ [1]: інсоляції, освітленості приміщення, довговічності та експлуатаційній надійності, шумоізоляції, звукоізоляції, класу повітропроникнення. Для визначення функціональних параметрів «Повітропроникність», «Шумоізоляція», «Світлопропускання»» залежно від варіанту віконної конструкцій використовують існуючі програми. Вихідними даними для визначення функціональних характеристик є інформація про:

– компоненти віконної конструкції – матеріал, профіль, профільна система. склопакет, дистанційна рамка,:

– вид вікна (одностулкове, двостулкове тощо), ширина, висота, кількість відкривань; зовнішні умови – орієнтація за сторонами світу, наявність зовнішнього затінення (сонцезахисту) , тип системи опалення.

На рис. 2.5 та рис. 2.6 показано використання «Енергокалькулятору вікон і дверей» [72] для розрахунку та оцінки технічних і функціональних характеристик вікна. Функціональні вимоги досягаються за рахунок зміни комплектності конструкції вікна. Наприклад, на повітропроникність вікна максимально впливає відповідність ущільнювачів до профілів і фурнітури. При підборі вікон важливо знати та дати оцінку функціональності за рахунок комплектності компонентів віконної конструкції.

Функціональність вікон також залежить від характеристик профіля віконної конструкції, профільної системи; характеристик та якісного складу склопакету вікна. Функціональність вікон може бути доповнена за рахунок використання фурнітури та додаткових конструктивних елементів: ручок, петель, запірних механізмів, вентиляційних пристосувань, використання систем автоматизованого відкривання та закривання вікон. Для користувача важливо вибрати кожен з цих компонентів так, щоб вікно максимально

відповідало особливостям тієї кімнати, де воно буде встановлено, а також потребам мешканців квартири [76].

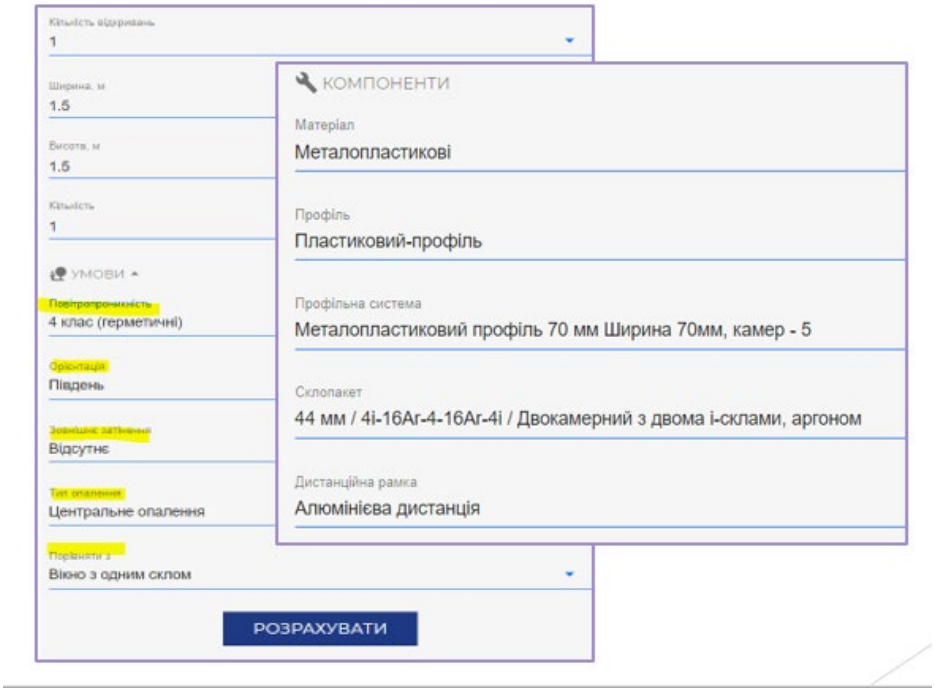


Рисунок 2.5 – Вихідні дані для розрахунку енергокалькулятором вікон і дверей OKNA.ua [72]

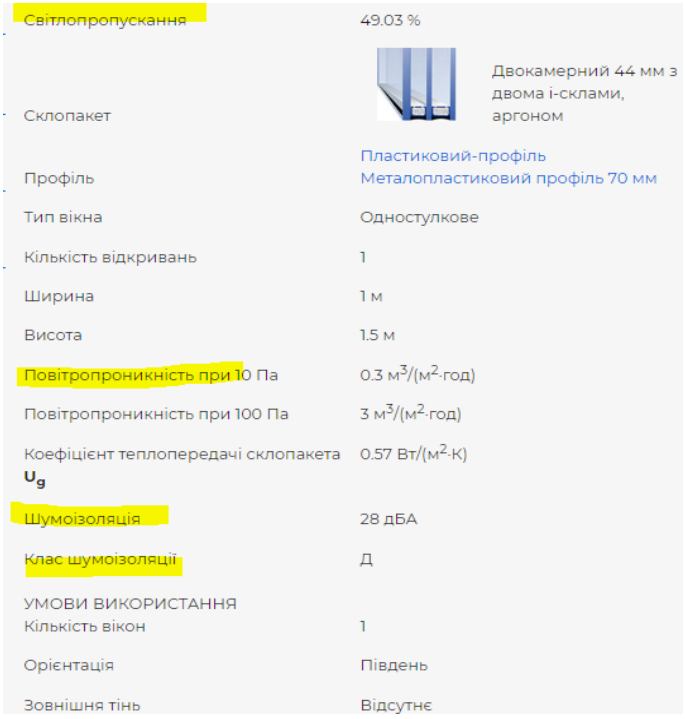


Рисунок 2.6 – Оцінка технічних і функціональних характеристик вікна енергокалькулятором OKNA.ua [72]

Експертний досвід архітекторів та проєктантів свідчить, що архітектурна привабливість та функціональність відіграє важливу роль в проєктуванні і може виступати як один з пріоритетів при виборі віконної конструкції. На основі викладеного, можемо зробити висновок, що оцінка архітектурної привабливості та функціональності конструкції вікна – критерій *y2* (рис. 2.7) визначається факторами:

- X_{21} – естетика та дизайн, обґрунтовується формою, пропорціями, дизайном віконної конструкції; наявністю архітектурних обмежень у виборі форми та розмірів, пропорцій вікна; інтеграцією вікон у існуючий архітектурний стиль; нестандартною та складною формою (екерне вікно, панорамне, кутове тощо).
- X_{22} – характеристики профіля віконної конструкції, профільної системи, технічні характеристики та якість склопакету вікна визначають основну (базову) функціональність;
- X_{23} – застосування додаткових конструктивних елементів та фурнітури: вентиляційних пристосувань, використання систем автоматизованого відкривання та закривання вікон підвищують технічний рівень і функціональність конструкції вікна.

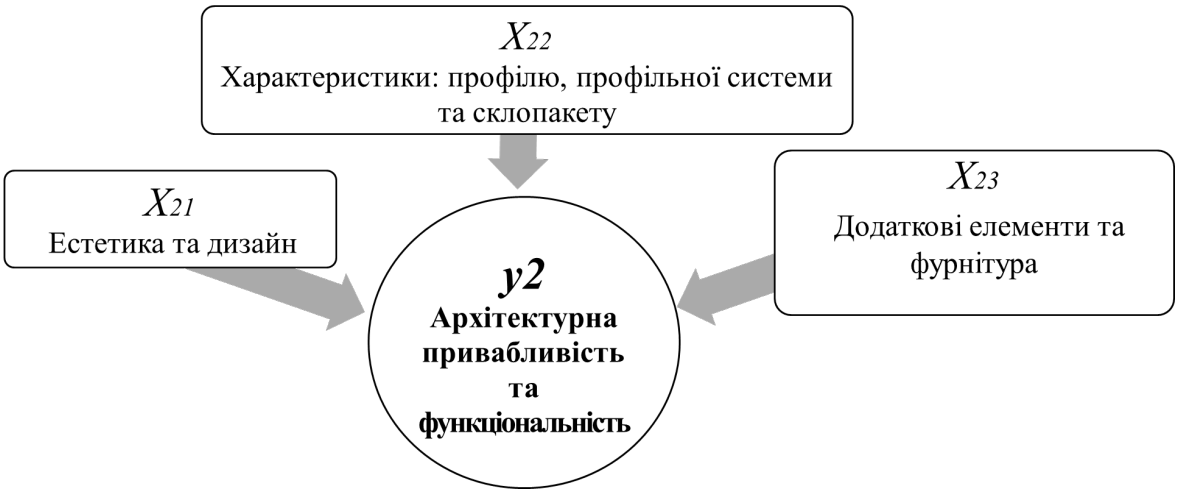


Рисунок 2.7 – Фактори, що визначають критерій *y2* «Архітектурна привабливість і функціональність»

Опис та оцінку факторів X_{21}, X_{22}, X_{23} для визначення критерію *y2* представлено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Оцінка та опис факторів X_{21}, X_{22}, X_{23}

Фактор	Оцінка	Опис фактору (аналіз)
X_{21} Естетика та дизайн	1. Низький рівень. 2. Середній рівень. 3. Високий рівень.	Рівень естетики та дизайн визначається формою, пропорціями, дизайном віконної конструкції; наявністю архітектурних обмежень у виборі форми та розмірів, пропорцій вікна; інтеграцією вікон у вже існуючий архітектурний стиль; нестандартною та складною формою .
X_{22} Характеристики: профілю, профільної системи та склопакету	1. Стандартні 2. Середні. 3. Високі.	Середні і високі характеристики профіля визначаються як правило при нестандартних формах вікна (арка, кругла, багатогранна) та у конструкціях з використанням різних матеріалів у профілі, а також наявністю додаткових декоративних елементів, стилізованих вставок, складних фігурних деталях. Складні профілі можуть вимагати спеціалізованих технологій виготовлення та монтажу. Оцінки профільної системи здійснюється за нормованими класами ПВХ профілів: клас «В» має достатню міцність, придатний для багатьох житлових будівель, відповідає стандартному набору характеристик; клас «А» має високі показники механічної міцності, стійкість до вітрових і інших навантажень, найвищі функціональні параметри звуко- і шумоізоляції.. Характеристики склопакету зазначаються виробниками у маркуванні. Якість визначається за наявними сертифікатами відповідності стандартам.

Продовження таблиці 2.5

Фактор	Оцінка	Опис фактору (аналіз)
X_{23} додаткові елементи та фурнітура	1. Відсутні додаткові елементи (стандартне) 2. Наявні додаткові конструктивні елементи.	Додатковими конструктивними елементами виступають системи ручок, вентиляційних пристосувань, використання систем автоматизованого відкривання та закривання вікон, вбудовані жалюзі, що додає додаткової функціональності та дизайн вікну.

Рівень архітектурної привабливості і функціональності конструкції вікна *y2* визначається за факторами X_{21}, X_{22}, X_{23} (табл 2.6).

Таблиця 2.6 – Рівень *y2* «Архітектурної привабливості та функціональності»

Оцінка критерію *y2*	Аналіз факторів X_{21}, X_{22}, X_{23}
Простий рівень (стандартне вікно)	Вікно з простими архітектурними і функціональними рішеннями, має помірну сумісність з архітектурою будівлі, відповідає оцінці параметрів X_{21} «низький» та X_{22}, X_{23} «стандартне».
Середній рівень	Вікно має привабливий але стандартний вигляд, помірну складність естетики та дизайну. Середній рівень визначається при оцінці хоча б одного з параметрів X_{21}, X_{22}, X_{23} вище за категорію «стандартне».
Високий рівень	Вікно має відмінну сумісність з архітектурою будівлі, високий рівень функціональності. Високий рівень відповідає оцінці X_{21} та (або) X_{22} високого рівня.

2.4 Ринкова ціна (вартість)

Ринкова ціна вікна визначається комплексом факторів і може суттєво відрізнятися у виробників або в залежності від конкретних характеристик вікон. Основні фактори які формують критерій *y3* – ринкову ціну представлено на рис. 2.8, та визначаються чинниками:

- X_{31} Вартість матеріалів та компонентів вікна. Наприклад, вікна з дерева, алюмінію, PVC або комбінованих матеріалів можуть мати різну вартість. Використання подвійного або скла з покращеними ізоляційними властивостями може підвищити ціну вікна.
- X_{32} Конфігурація та складність конструкції вікна. Більші вікна або вікна, що мають особливі форми або властивості, можуть коштувати дорожче через більше через складнішу конструкцію або використання додаткових матеріалів та функціональних елементів, наприклад ламінація вікна або спеціальні декоративні елементи.
- X_{33} Виробник і бренд. Регіональні фактори**.** Продукція від відомих виробників або відомих брендів може мати вищу ціну через свою репутацію та якість. Ціни на вікна можуть відрізнятися в залежності від регіону, у якому продаються, через різницю в податках, витрат на доставку та інші фактори.

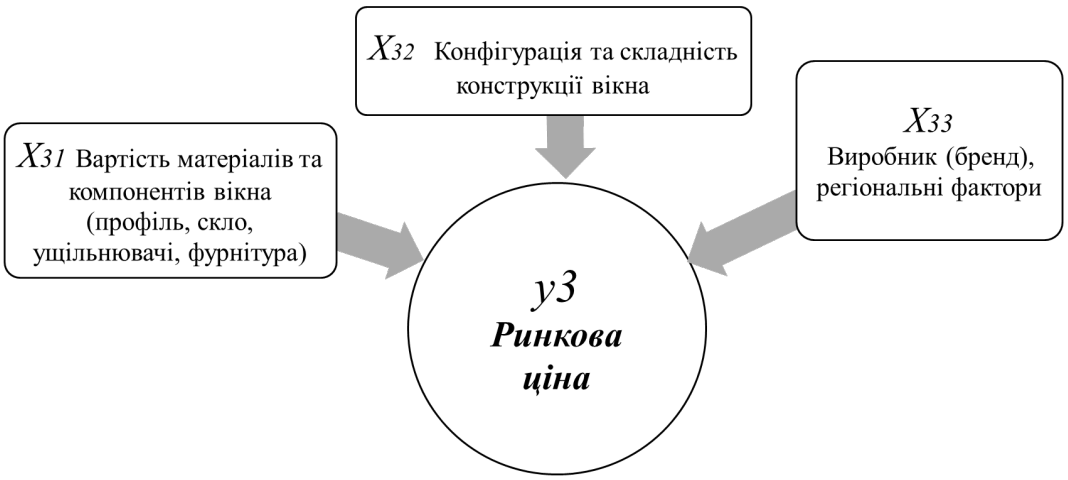


Рисунок 2.8 – Фактори, що визначають критерій *y3* - Ринкова ціна

При зовнішній схожості, різні вікна можуть мати різні характеристики і властивості, рівень безпеки і надійності. Виробники пропонують вікна за такими ціновими сегментами [77]:

– "ЕКОНОМ" бюджетний сегмент ;
– "ОПТИМАЛЬНИЙ" середні ціновий сегмент ;
– "МАКСИМУМ" елітний сегмент.

Приклади віконних конструкцій за ціновими сегментами наведено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Приклади конструкцій вікон з різним ціновим сегментом

Ціновий сегмент	ПРИКЛАДИ [77]
Бюджетний сегмент ЕКОНОМ	AFT Vista – популярний дешевий вітчизняний 3-камерний профіль з безпечних матеріалів.
	WDS Millenium, WDS 400, 500 – трьох-, чотирьох-, п'ятикамерні системи з відмінним шумозаглушенням, теплозахистом, вологоізоляції, стабільністю кріплень.
	Openteck Standart, De-lux, Elit – 3/4/5-камерні профілі з режимом енергозбереження, звукоізоляції, довговічною службою.
	ALMplast – система з якісною трикамерною будовою, елегантним дизайном, що забезпечує енергоефективність, шумозахист.
Середньо ціновий сегмент ОПТИ-МАЛЬНИЙ	Veka Euroline – трикамерна система з властивостями теплозбереження, міцністю конструкцій, стильним дизайном
	WDS 4, 7 Series -– чотирьох - і шестикамерні профілі з відмінним теплозахистом, звукоізоляцією, довговічною службою виробів.

Продовження таблиці 2.7

Ціновий сегмент	ПРИКЛАДИ [77]
Середньо ціновий сегмент ОПТИ-МАЛЬНИЙ	KBE Classica – практична трикамерна будова, збереження тепла, вологоізоляція.
	Deccо 60, 70 – польські 4, 6-камерні системи з хорошими показниками енергоефективності, шумозаглушення, захистом від протягів.
	Windom – трикамерний вітчизняний профіль з гідними якісними характеристиками.
	Rehau 60 – відмінні німецькі трикамерні вікна з високими захисними показниками, надійністю конструкцій.
	KBE Optima – п'ятикамерний покращений варіант з режимом теплозбереження, захисту від шуму, зносостійкістю.
Елітний сегмент МАКСИМУМ	Veka Softline – 5-камерна будова німецько-українського виготовлення, з відмінною теплозахистом, шумозаглушенням, перевіреної міцністю.
	Deccо 82 – інноваційна польська шестикамерна система з максимальними захисними можливостями.
	Windom Delux – екологічний п'ятикамерний профіль, що забезпечує енергозбереження, шумоізоляцію, тривалу службу конструкцій.
	Rehau 70 – високоякісні п'ятикамерні вікна ПВХ з Німеччини.
	Salamander StreamLine – п'ятикамерна преміум-система провідного німецького виробника, з високою енергоефективністю, захистом від шуму, вологоізоляції, довговічністю.

Оцінка факторів X_{31} , X_{32}, X_{33} закладена у вартість конструкції вікна виробником або продавцем вікон

Вікна з мінімальною ціною часто не мають вбудованих технологій або матеріалів, які потрібні для задоволення конкретних потреб у тепло- та звукоізоляції, безпеці та інших параметрах. Наприклад, виробники дешевих металопластикових віконних конструкцій можуть замінити з'єднувач імпоста простим ремонтним комплектом, вартість якого в раз 5 дешевше: в результаті термін служби і якість функцій вікна істотно постраждає.

Виробники вікон часто включають у ціну вікна вартість монтажу конструкції та обробку укосів, в цьому випадку ціна на монтаж віконних виробів буде залежите від його типу монтажу.

Оцінка критерію *y3* відбувається за ціновим сегментом при визначення ціни вікна для конкретного варіанту.

Сегмент "ЕКОНОМ" включає вікна, які зазвичай мають більш доступну ціну. Вони можуть бути нижчого рівня якості або мати обмежений набір функцій, але зазвичай задовольняють базові вимоги. Ці вікна можуть бути зроблені з менш дорогих матеріалів або мати меншу енергоефективність.

Вікна сегменту "ОПТИМАЛЬНИЙ" зазвичай мають середні ціни та можуть пропонувати кращу якість і функціональність порівняно з бюджетним варіантом. Вони можуть бути більш енергоефективними, мати покращену звукоізоляцію та більше опцій з удосконаленою фурнітурою.

Сегмент "МАКСИМУМ" включає вікна високої якості з розширеним набором функцій та можливостей. Вони зазвичай мають вищі теплоізоляційні характеристики, покращені матеріали та більш сучасні технології у фурнітурі. Вікна цього сегменту призначені для споживачів, які цінують комфорт, ефективність і безпеку, і готові вкладати більше коштів у вирішення своїх потреб.

Якщо вікна мають однаковий розмірі або перебувають в однаковому ціновому сегменті, то оцінку критерію *y3* «Ринкова ціна» необхідно зробити порівнянням варіантів по ціні (вартості), яка наведена у комерційній пропозиції виробника віконних конструкцій.

2.5 Захист від злому і проникнення

Базова потреба людини перебувати у безпеці і відповідно у захищеному приміщенні. Оскільки вікна є зовнішніми огороджувальними конструкціями, тому важливим при виборі вікон є захист від злому і проникнення – критерій y_4, який визначає захист приміщення від несанкціонованого відкриття, безпеку використання, функціональність систем контролю руху віконних елементів.

За статистикою [79] в Україні у 2020 році кожні 5 хвилин зламувались вікна чи двері, фактичних зламів у середньому було 8 626 на місяць, лише 1 з 4-х зламів вікон чи дверей фіксувалось поліцією. Це свідчить, що питання захисту вікон від злому було і є актуальним. Зламостійкість вікна визначається такими елементами його конструкції, як: фурнітура, скло, профіль і ручка [6, 79, 80]. Захист приміщення від проникнення та несанкціоноване відкриття визначається рівнем стійкості конструкції вікон до злому та вандалізму згідно ДСТУ EN 1627:2014 [6]. За ступенем стійкості до злому вікна класифікують на три основні класи RC1, RC2/ RC2N, RC3 (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Класифікація за ступенем стійкості до злому

Клас опору	Клас стійкості скління відповідно до ДСТУ EN 356:2005
RC 1 N	Жодних вимог*
RC 2 N	Жодних вимог*
RC 2	P4 A
RC 3	P5 A
RC 4	P6 B
RC 5	P7 B
RC 6	P8 B

* у цих класах опору можуть дотримуватися національних положень

Вікна RC1. Вікно зі звичайним склопакетом забезпечує стійкість до застосування фізичної сили (удари кулаком, плечем тощо), можна застосовувати для других і останніх поверхів

Вікно RC2 N/RC2. Вікно зі звичайним або безпечним склопакетом (P4A) та спеціальною фурнітурою. У даного вікна мінімальний час опору до зламу із застосуванням простих інструментів (викрутки, клини, розвідний ключ) 3 хвилини. Вікно RC2N/RC2 ефективно використовувати на перших поверхах.

RC3. Вікно з безпечним склопакетом (P5A). Мінімальний час опору до зламу із застосуванням додатково до інструментів для RC2 лому, легкого молотка, ручного дриля 5 хвилин.

Починаючи з другого класу протизламу (RC2) визначено клас ударостійкого захисного скла (склопакету) за здатністю виробу протистояти дії сили ручного зламування, згідно зі стандартом ДСТУ EN 356:2005 [13], що є тотожним EN 356:1999 Glass in building – Security glazing – Testing and classification of resistance against manual attack. Ударостійкими є склопакети, здатні витримувати багаторазовий удар вільно падаючого тіла [13]. Склопакети класу P1A – P5A відносяться до антивандального скління. Найбільш міцними, які використовують у житловому будівництві, є склопакету класу P4A, P5A.

Класифікація та підтвердження протизламних характеристик це складний процес серії випробувань в спеціалізованих лабораторіях. Сьогодні на ринку України є виробники які проводить комплексні випробовування у сертифікованих лабораторіях і мають ліцензію на виготовлення зламостійких виробів класу RC2 [78]. Критерій *y4* «Захист від злому» є важливим при виборі панорамних вікон, а також вікон, на перших, других і останніх поверхах.

На безпеку впливає функціональність систем контролю руху вікон, що визначено ДСТУ [26]. Системи контролю руху повинні бути спроєктовані так, щоб уникнути травмувань чи небезпеки під час відкриття чи закриття вікна. Це включає застосування механізмів блокування, які перешкоджають ненавмисному відкриттю, а також використання датчиків безпеки, які припиняють рух вікна при виявленні перешкод. Фурнітура з відповідною кількістю протизламних елементів – цапф і відповідних планок, що встановлені на віконній рамі і стулці, взаємодіючі між собою, забезпечують міцне зчеплення

стулки з рамою і, як наслідок, високу стійкість до спроб зламу (це так звана «безпечна точка»). Чим більше таких точок – тим надійніше вікно і вище його стійкість до зламу. Число таких точок залежить, зокрема, від розміру конструкції, але відстань між ними не повинна бути більшою 650 мм. [80].

За проведеним аналізом визначено, що критерію *y4* «Захист від злому» визначається факторами впливу (рис. 2.10):

- X_{41} Стійкістю основних елементів вікна до злому (профілю, склопакету) ;
- X_{42} Наявністю додаткових зламостійких елементів (фурнітури, протизламні пари).

Опис та оцінку факторів X_{41}, X_{42} наведено у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Характеристика факторів X_{41}, X_{42} .

Фактор	Опис
X_{41} Стійкість основних елементів вікна до злому (профіль, склопакет)	Забезпечується міцністю матеріалів вікна та наявністю захисних покриттів, класом захисного скла (склопакету P1A-P5A). Ударостійке скло або скло з підвищеною міцністю може забезпечити додатковий рівень безпеки (клас RC2/ RC2N, RC3).
X_{42} Наявність додаткових зламостійких елементів (фурнітура, протизламні пари)	Замки на вікнах мають бути надійними, протистояти несанкціонованому відкриттю ззовні. Рекомендована кількість протизламних пар (цапфа + зачіп) для вікна класу RC1: 4 (по одному в кожному кутку), RC2: усі зачепи повинні бути протизламними [79, 80]. Наявні зламостійкі елементи конструкції підсилюють рівень захисту

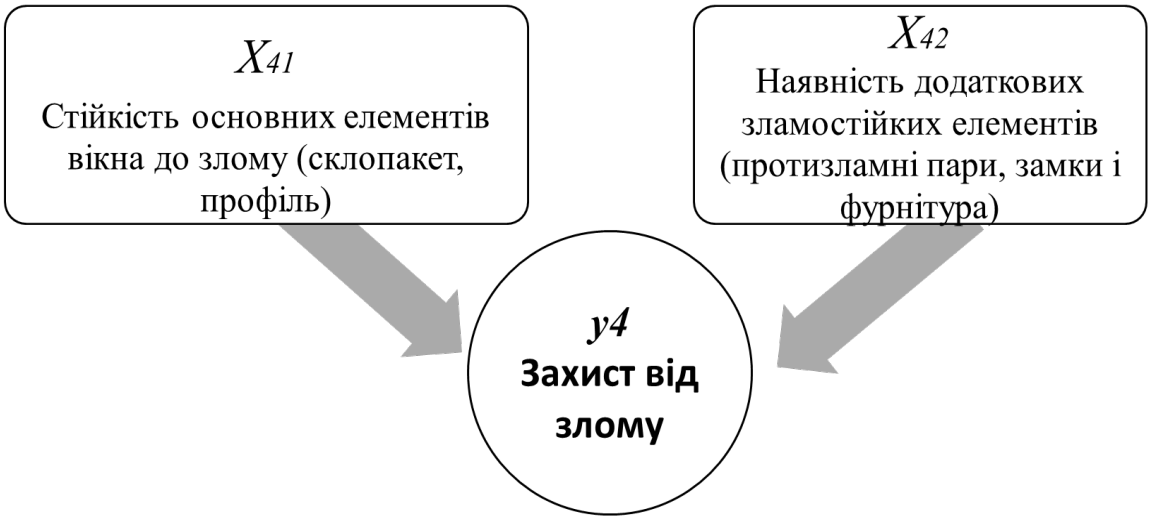


Рисунок 2.10 – Фактори, що визначають критерій *y4* Захист від злому

Визначення оцінки критерію *y4* «Захист від злому» наведено у таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Оцінка критерію *y4* «Захист від злому»

Оцінка критерію *y4*	Опис за факторами X_{41}, X_{42}
Мінімальний рівень	функції захисту та стійкості до злому у конструкції вікна не забезпечені.
Середній рівень	вікно має лише окремі підсилені функції захисту та стійкості до злому (або склопакет, або фурнітура тощо).
Високий рівень	вікно має комплексний захист, що включає якісний профіль з підвищеними характеристиками стійкості, склопакет (триплекс), протизламну фурнітуру або відповідає стандартам (RC2, RC2N, RC3) забезпечення функцій захисту та стійкості до злому вікна, що підтверджено сертифікатом виробника.

2.6 Стійкість вікон до дії вибухової хвилі (захищеність вторинних факторів вибуху)

У будівельних нормах враховують показники, які характеризують: теплоізоляційні характеристики, енергоефективність, повітропроникнення, світлопропускну здатність, звукоізоляція та шумоізоляція, захист від механічного злому, але не враховують актуальну на сьогодні характеристику безпеки віконних конструкцій – забезпечення стійкості при вибуховій хвилі та у надзвичайних ситуаціях. Безпечність у разі дії вибухової хвилі – ризики руйнування віконної конструкції внаслідок дії вибуху, пропонується визначити як критерій *y5* «Стійкість вікон до вибухової хвилі» (захищеність вторинних факторів вибуху).

Забезпечення стійкості при вибуховій хвилі та у надзвичайних ситуаціях набуло актуальності в умовах перебування України у воєнному стані з 2022 року. Сьогодні багато житлових будівель мають руйнування та пошкодження однієї з складової цих пошкоджень є розбите скло вікон внаслідок вибухової хвилі. Люди, які опинялися в зоні ураження, отримували серйозні поранення через розлітання різноманітних уламків, найчастіше – скляних. За даними [57], близько 80% поранень та смертей серед цивільного населення у разі вибухів під час терактів чи бомбардувань спричинені первинними і вторинними осколками. І 80% уражень від осколків та уламків – це травми від скла. Тобто близько 64% (80%*80%) усіх смертей та поранень внаслідок вибуху завдаються розбитим віконним склом. Здебільшого це пояснюється тим, що вікна є слабшим за інші елементи будівлі (стіни, колони, балки) відповідно вони розлітаються при меншому тиску. Крім того, скло стало одним з найпоширеніших будівельним елементом у сучасній міській архітектурі. Останні роки українські виробники вікон та ряд інших компаній віконного ринку на шляху пошуку комплектації вибухостійких вікон [36, 38].

Вибухова хвиля це збурення особливого роду, що виникає в навколишньому середовищі під час вибуху заряду вибухової речовини, пилу

або газу, якому притаманне різке стрибкоподібне підвищення тиску й котре супроводжується стиском, нагріванням та зміною швидкості руху речовини. Поблизу осередку вибуху вибухова хвиля поширюється зі стрімкістю, що перевищує швидкість звуку в даному середовищі (ударна хвиля). Основними параметрами, що характеризують руйнівну здатність вибухової хвилі, це надлишковий тиск та імпульс вибуху (рис. 2.11) [38].

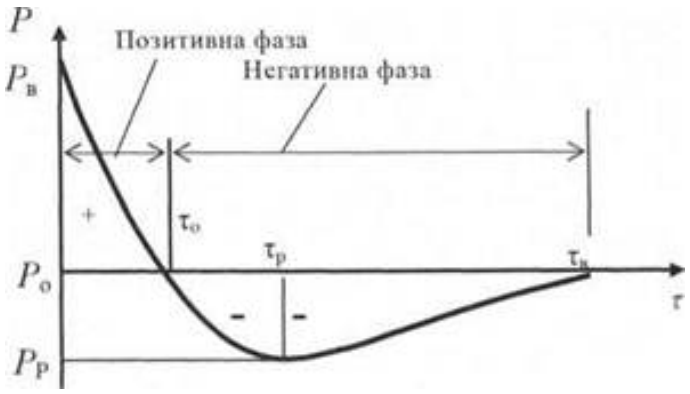


Рисунок 2.11 – Графік ідеальної ударної хвилі

Позитивна фаза хвилі тиску характеризується амплітудою надлишкового тиску Рв та тривалість τ_0 (рис 2.11). Ці параметри насамперед використовують для розрахунку впливу вибуху на будинки і споруди. Швидкість ударної хвилі – 350 м/с. За перші 2 секунди ударна хвиля проходить близько 1000 м, за 5 секунд – 2000 м, за 8 секунд – близько 3000 м [64].

За відстанню зона дії повітряної ударної хвилі більше ніж зона детонаційної хвилі та зона дії продуктів вибуху (рис. 2.12).

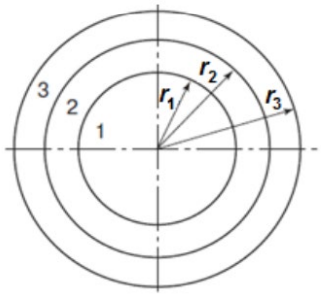


Рисунок 2.12 – Зони дії ударної хвилі при вибуху газоповітряної суміші

1. Зона детонаційної хвилі, r_1 , ΔP_1. 2. Зона дії продуктів вибуху, r_2 , ΔP_2. 3. Зона повітряної ударної хвилі, r_3 , ΔP_3.

Повне руйнування будівлі відбувається при надлишковому тиску ΔР більше 100 кПа, середні пошкодження будівлі (з можливим відновленням) при ΔР = 28 кПа, руйнування віконних прорізів при ΔР = 14 кПа, а часткове руйнування склінні відбувається при ΔР менше 2 кПа. У таблиці 2.11 визначено руйнування скління залежно від значення надлишкового тиску ΔР.

Таблиця 2.11 – Руйнування скління залежно від значення ΔР надлишкового тиску

п/п	Характеристика пошкодження скління	Надлишкововий тиск ΔР, кПа
1	Повне руйнування скління	7
2	50 % руйнування скління	2,5
3	10% і більш руйнування скління	2

Осколки скла під надлишковим тиском вибуху розлітаються і вражають цілі з великою швидкістю та кінетичною енергією, подібними до гострих лез (можуть пробивати різні тверді і м'які поверхні) [64]. Розмір зони ураження, визначається значенням надлишкового тиску та імпульсу ударної хвилі, визначаються на основі відомостей про віддаленість об’єкту від епіцентру вибуху, потужності і виду вибуху. Найбільш можливі режими відмови вікна наведено у таблиці 2.12.

Велика частина вибухового навантаження у віконній конструкції припадає на склопакет. Стійкість склопакету, визначається видом та товщиною скла, його міцністю, кількістю скляних листків в пакеті [57, 63, 75]. Міцність скла на рівні матеріалу може бути підвищена за рахунок зміни типу скла, що має підвищувати його опір механічному навантаженню, термічні властивості, хімічну стійкість та інші характеристики.

Таблиця 2.12 – Найбільш можливі режими відмови простого вікна [52]

Місцезнаходження	Відмова
Скління	Поломка через вигин посередині скла
	Порушення вигину на краю скла біля затискного профілю
	Витяг склопакета з затиску
Перехід стулки та рами	Поломка арматури
	Виривання фурнітури зі стулки або рами
	Вихід з ладу профілів каркаса
Каркасно-стінний перехід	Зрізання анкерів
	Виривання анкерів з рами або цегляної кладки/стіни

Визначення типу скла в будівлі є важливим для розуміння того, як воно буде фрагментуватися в результаті вибуху Характеристики пошкодження різних видів скла при дії вибухової хвилі представлено на рис. 2.13.

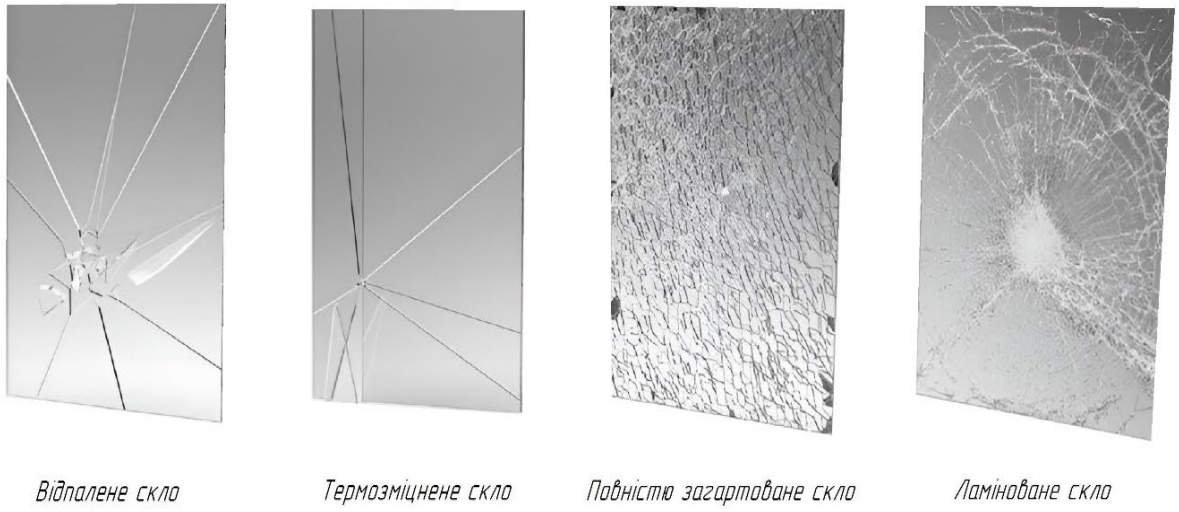


Рисунок 2.13 – Характеристики пошкодження різних видів скла при дії вибухової хвилі [57]

При дії вибухової хвилі звичайне скло (відпалене) зазвичай розбивається на великі шматки з довгими гострими краями (рис. 2.13). Термозміцнене скло

поводитися аналогічно до звичайного, але у двічі міцніше. Загартоване скло розлітається на дрібні шматочки без гострих країв. Ламіноване скло має набагато вищу безпеку за рахунок проміжного шару, витримує проникнення від удару, і навіть якщо скло трісне, осколки прилипають до прошарку. Ламіноване скло це один з найкращих варіантів для захисту від вибуху для скління зовнішніх елементів будівлі, таких як вітрини, вікна, навісні стіни, і дахові вікна.

Зміцнення вікон може бути досягнуто за допомогою встановлення ударостійкої плівки SRF (Shatter Resistant Films) [81]. Але ударостійкі плівки та противибухові завіси, не завжди є прийнятною альтернативою для нових будівель, основною причиною цього є той факт, що такі рішення, мають набагато коротший розрахунковий термін служби, що вимагає їх багаторазової заміни [81].

Стійкість склопакету може бути поліпшена на рівні компонентів, за рахунок зміни компонентів, які входять у склад скляної конструкції, таких як клеї, ущільнювачі, арматура тощо. Якість цих компонентів може впливати на загальну міцність скла і конструкції. Наукові підходи [53-56] щодо моделювання динамічної реакції на вибух спеціалізованих віконних конструкцій з підвищеною стійкістю до вибухів та ударів, режиму руйнування та розльоту скла після удару, а також питання вибухозахищеності скляних вікон для покращення захисної здатності будівлі розглянуто у підрозд. 1.3.

Ударостійкими є склопакети, здатні витримувати багаторазовий удар вільно падаючого тіла. Згідно ДСТУ [30] вони поділяються на класи А1, А2, А3 та Р1А, Р2А, Р3А, Р4А, Р5А, відповідно до їх протизламних характеристик. Вибухостійкі, зламостійкі та кулетривкі вікна – це різні вікна. Ці властивості не є тотожними. Дослідження українських виробників вікон [38] показали, що зламостійкі вікна рівня захисту RC2, після вибухів виглядали набагато краще, ніж звичайні, скло потріщало, але не розлетілось (рис. 2.14).

Рисунок 2.14 – Вікна із класом зламостійкості RC2 після вибуху [36]

На конструктивному рівні досягнути стійкості при дії вибухової хвилі можна за рахунок того, що рами і системи кріплення поєднані між собою, і розподіляють навантаження та взаємодіють між собою в експлуатації таким чином, щоб у разі виходу з ладу одного або кількох окремих елементів вся віконна система витримує удар та зберігає цілісність. Також при використанні невеликого розміру шибок, можна збільшити стійкість віконної конструкції та зменшити ризик розльоту скла. Більші розміри скла можуть призвести до нерівномірного розподілу температури по його поверхні, це може спричинити розширення або стиснення скла та в кінцевому результаті підвищити його схильність до тріщин. Особливо це чутливо у великих вікнах або скляних конструкціях. Також на конструктивному рівні зміцнення вікон від вибухових навантажень можливо за рахунок збільшенні розмірів поперечних перерізів їхніх компонентів [53].

Оптимально, коли всі компоненти пропорційно міцні, відносно поглинання вибухового навантаження. Наприклад, встановлення міцного скла (ламінованого скла товщиною 30 мм) у слабку раму або у слабку цегляну стіну зменшить загальну ефективність передбачуваної вибухостійкості, тому що структурні компоненти легко руйнуються під час вибуху. Аналіз пошкоджень вікон за наслідки дії вибухової хвилі [38] зафіксував, що :

- більшість віконних конструкцій, які вилетіли разом з рамою, були змонтовані на анкерних пластинах, і кількість цих пластин не відповідала вимогам ДСТУ. У конструкціях, які монтувалися на рамний дюбель, принаймні рама залишалася на місці;

- стулка вилітала здебільшого через руйнування фурнітури: самого зачепу або пластику, до якого він кріпиться зазвичай одним шурупом.

Це демонструє важливість закріплення віконної конструкції у віконному прорізі. Що досягається якісним анкетуванням: конфігурацією опори, типом і кількістю анкерів, для фіксації віконної рами в основі, а також основою у яку закріплюється вікно (міцністю стіни). Кількість кріплення має відповідати ДСТУ [2]: кількість анкерів пропорційна периметру вікна, а сила від вибивання пропорційна площі вікна. Тому, ризик вибивання усього вікна буде нелінійною залежати від площі.

Сьогодні в Україні відсутня методика оцінку впливу руйнування вікон внаслідок вибухової хвилі у житлових приміщеннях. Аналіз найбільш застосовуваних світових стандартів вибухостійкості вікон [57, 63, 81] представлено у табл. 2.13.

Таблиця 2.13 – Оцінка рівню вибухозахисту (реакції вікон) за світовими стандартами (порівняння) [57, 63, 81, 82]

UFC 4-010-01	GSA-TS01	ASTM F1642	ISO 16933	UN Acceptability
Below AT Standards Нижче АТ стандартів	5	6 High hazard Висока небезпека	F High Висока	Unacceptable Неприйнятно
Very Low Дуже низький	4	5 Low hazard Низька небезпека	E Low Низька	
	3b			
Low Низький	3a	4.Very low hazard Дуже низька небезпека	D Very low Дуже низька	Acceptable if unlikely blast incidents Прийнятно, якщо інциденти з вибухом малоймовірні

Продовження таблиці 2.13

UFC 4-010-01	GSA-TS01	ASTM F1642	ISO 16933	UN Acceptability
Medium Середній	2	3.Minimal hazard Мінімальна небезпека	C Minimum Мінімальна	Acceptable Прийнятно
		2 No hazard Немає небезпеки	B No hazard Немає небезпеки	
High Високий	1	1 No break Без розривів	A No break Без розривів	

Стандарти приведені у табл.2.13 мають власну методологію випробувань та систему класифікацій. З випробування вікон до вибуху на тривкість в Україні діє стандарт: ДСТУ [60, 61], за якими першому класу вибухостійкості EXR 1 відповідає вікно, яке після вибуху 3 кг тротилу на відстані 5 метрів залишилося закритим та без утворення осколків зі сторони приміщення (табл. 2.14).

Таблиця 2.14 – Класи тривкості, маса вибухового заряду і відстань [63]

Клас тривкості	Маса вибухового заряду, кг	Відстань, м
EXR1	3	5,0
EXR2	3	3,0
EXR3	12	5,5
EXR4	12	4,0
EXR5	20	4,0

У табл. 2.14 наведено класи тривкості EXR1 - EXR5, які розташовані у вихідній послідовності їх опору до тиску повітряної ударної хвилі. Якщо вікна, двері або жалюзі відповідають певному визначеному класу тривкості, це означає, що вони також відповідають і нижчим класам.

Для отримання класу тривкості до вибуху необхідно провести випробовування вибухом з забезпеченням вимог ДСТУ [60, 61], що є досить складно. Тому для аналізу факторів, що впливають на критерій *y5* «Стійкість до вибухової хвилі» використаємо матеріали з відкритих джерел:

- українських досліджень [36, 38],
- звіт PSU Information Bulletin Bblast protection for windows («Противибуховий захист» Інформаційний бюлетень департаменту охорони та безпеки ООН) [57];
- звіти GSA (General Services Administration) Національної адміністрації загальних послуг США по Стандартним метод випробувань для скління та віконних систем, що піддаються динамічним навантаженням надлишкового тиску який представлено у GSA-TS01-2003 [63].

Методологія GSA стосовно вибухостійкості вікон проілюстрована на рис. 2.15 , опис рівній стійкості до вибуху наведено у таблиці 2.15. [63].

На рис. 2.15 змодельована кімната завдовжки 10 футів (3 метра). Вибух відбувається за межами кімнати, потенційно розбиваючи вікно. Реакція скління вікон (показано кольорами) є розрахованим очікуванням того, що станеться під час вибуху. Вплив вибухової хвилі на віконне скло може спровокувати повне руйнування і прокидання осколків по кімнаті (зона 5); або може тріснути тільки скло (зона 2, 3а); або вікно витримує удари і не ламається (зона 1). Цей підхід дозволяє оцінити рівень вибухостійкості скла, небезпечні та безпечні зони у результаті руйнування скла.

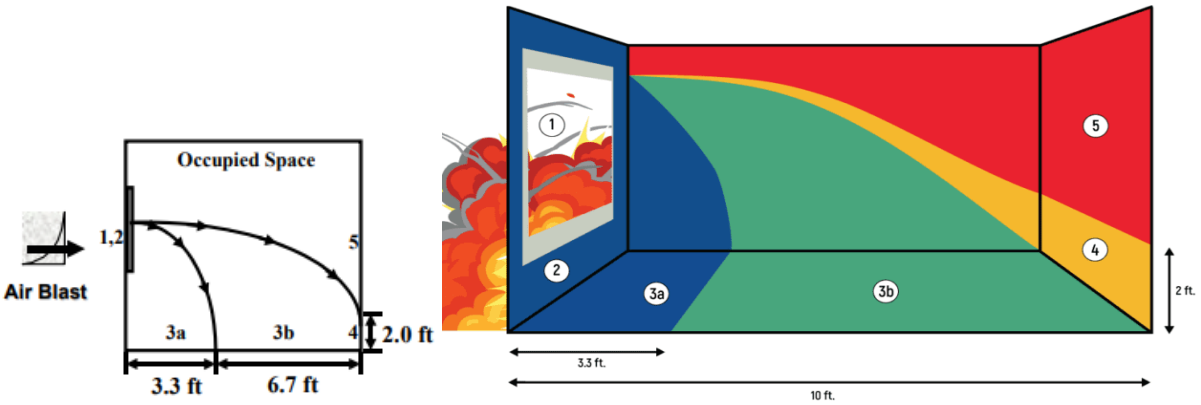


Рисунок 2.15 – Критерії небезпеки осколків скла при руйнуванні згідно GSA-TS01-2003 [63]

Таблиця 2.15 – Критерії небезпеки осколків скла при руйнуванні згідно GSA-TS01-2003 [63]

Зона	Рівень захисту	Ступінь безпеки	Опис поведінки віконного скління Window Glazing Responce
1	Безпечний	Відсутній	Скло не ламається. Без видимих пошкоджень скління та рами
2	Дуже високий	Відсутній	Скло тріскається, але утримується рамою. Допускається пил або дуже дрібні осколки (фрагменти) біля підвіконня або на підлозі.
3а	Високий	Дуже низький	Скління має тріщини. Фрагменти потрапляють у простір і падають на підлогу не далі, ніж на 3,3 фута (1 м) від вікна
3б	Високий	Низький	Скління має тріщини. Фрагменти потрапляють у простір і падають на підлогу не далі ніж 10 футів (3м) від вікна.
4	Середній	Середній	Скління має тріщини. Фрагменти потрапляють у простір і падають на підлогу, а також вдаряються у вертикальну панель спостереження на відстані не більше 10 футів (3 м) від вікна на висоті не більше 2 футів (0,6 м.) над підлогою.
5	Низький	Високий	Склопакети тріскаються і віконна система руйнується повністю. Осколки потрапляють у простір, вдаряючись у вертикальну панель спостереження на відстані не більше 10 футів (3 м) від вікна на висоті понад 2 фути (0,6 м) над підлогою.

Підсумовуючи викладений аналіз, для вибору вікон при оцінці критерію *y5* «Стійкість вікон до вибухової хвилі», визначальними є фактори представлені на рис. 2.16.

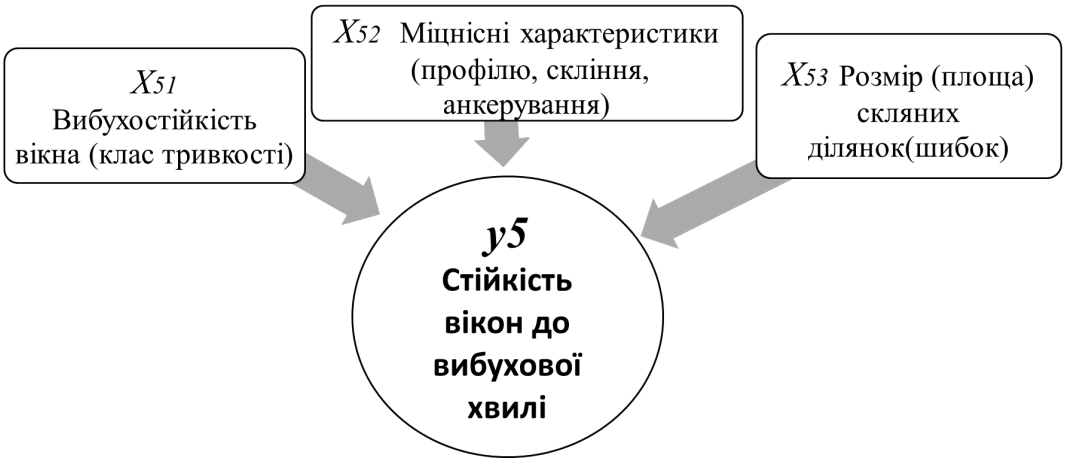


Рисунок 2.16 – Фактори, що визначають критерій *y5* «Стійкість до вибухової хвилі»

Характеристика факторів X_{51}, X_{52}, X_{53}:

– X_{51} Вибухостійкість вікна (клас тривкості) згідно до ДСТУ [60, 61], що забезпечується міцністю матеріалів, з яких виготовлені вікна та наявність захисних покриттів. Підтверджується сертифікатом, який надає виробник.

– X_{52} Міцнісні характеристики. Міцнісні характеристики рами, анкерування, стійкість скління (термозміцнене скло; загартоване скло; ламіноване скло, склопакету Р3А - Р5А, вікна класом RC2/ RC2N, RC3) визначають на рівні матеріалів та компонентів. Покращені міцнісні характеристики матеріалів підвищують рівень стійкості. Міцнісні характеристики можна оцінити як:

- низькі, якщо профіль та склопакет мають стандартні характеристики;
- середні, якщо профіль, склопакет мають підвищені міцнісні характеристики, але вікно немає сертифікованого класу RC2/ RC2N, RC3;
- високі, якщо вікно має сертифікований класу RC2/ RC2N, RC3.

– X_{53} Розмір (площа) скляних ділянок (шибок) – більші розміри скла можуть створювати більше напружень у матеріалі і підвищують його

схильність до вибухових, механічних впливів. Особливо це важливо у панорамних вікнах або скляних конструкціях, де буде зменшувати безпечність вікна порівняно зі стандартними вікнами.

Для оцінки критерію *y5* «Стійкість вікон до вибухової хвилі» за основу візьмемо проаналізовані стандарти безпеки (табл. 2.13, 2.15). Оцінка рівню критерія *y5* визначено у табл. 2.16.

Таблиця 2.16 – Оцінка рівню критерія *y5* за факторами X_{51}, X_{52}, X_{53}

Оцінка критерія *y5*	Характеристика за факторами X_{51}, X_{52}, X_{53}
A Спеціалізований рівень стійкості	Вікно спеціально розроблено для використання в умовах, де є особливі ризики, висока ймовірність або потенційна загроза безпеки. Вікно має заходи безпеки та міцну конструкцію, що відповідає конкретним вимогам ДСТУ [60, 61] та характеризується підтвердженими вибухостійкості класом (EXR1- EXR5).
B Високий рівень стійкості	Вікно характеризується підтвердженими зламостійкими класом не нижче RC2, N/RC2; конструкція вікна забезпечує створення відносно безпечного простору приміщення від вибухової хвилі, має дуже міцну конструкцію, високоякісне захисне скло та додаткові заходи безпеки.
C Підвищений рівень стійкості	Вікно характеризується підвищеними міцнісними характеристиками конструктивних елементів: профілю, скління (високоякісне захисне); компоненти вікна пропорційно міцні, розміри шибок у межах стандартних вікон; можуть бути включені додаткові заходи безпеки, але підтвердженого рівня (сертифікованого) захисту немає. Вікно забезпечує створення відносно безпечного простору приміщення від дії вибухової хвилі.

Продовження таблиці 2.16

Оцінка критерія *y5*	Характеристика за факторами X_{51}, X_{52}, X_{53}
D Низький рівень стійкості.	Вікно характеризується підвищеними міцнісними характеристиками лише окремих компонентів, розміри склопакетів у межах стандартних вікон; не забезпечує створення безпечного простору приміщення від дії вибухової хвилі
E Мінімальний рівень - немає стійкості до вибухової хвилі.	Конструкція вікна не передбачає створення безпечного простору приміщення від вибухової хвилі. Вікно характеризується стандартними характеристиками міцності профілю та склопакету; вікна, які мають великі розміри шибок (панорамні вікна).

2.7 Висновки до розділу 2

У розділі досліджено вплив розміру віконної конструкцій на приведений опір непрозорої частини зовнішньої стіни. Визначено, що у нормативній методиці відсутнє обґрунтування розрахункового фрагменту зовнішньої стіни за яким визначають приведений опір теплопередачі зовнішньої стіни. Проаналізовані результати обчислювального експерименту свідчать що, при використанні панорамних вікон приведений опір теплопередачі зовнішньої стіни істотно знижується для конкретного фрагменту зовнішньої стіни. Тому запропоновано для розрахунку приведеного опору теплопередачі зовнішньої стіни, обирати не довільний фрагмент зовнішньої стіни будівлі, а фрагмент зовнішньої стіни будівлі з найбільшими світлопрозорими ділянками. Такий підхід забезпечить виконання нормативних вимог до облаштування енергоефективної теплоізоляційної оболонки будівлі і направлений на підвищення якості теплоізоляційної оболонки.

Визначено п’ять критерієв, що впливають на прийняття рішення щодо вибору віконної конструкції у житлових будівлях на етапі проєктування. Кожен критерій формалізовано і визначено фактори, на основі яких здійснюється оцінка відповідного критерію.

Критерій *y1* «Енергоефективність» визначено факторами: X_{11} – опір теплопередачі вікна (енергоефективність віконної конструкції); X_{12} – приведений термічний опір зовнішньої стіни будівлі (приміщення).

Критерій *y2* «Архітектурна привабливість та функціональність» вікна визначено факторами: X_{21} – естетика та дизайн; X_{22} – характеристики профілю, профільної системи та склопакету; X_{23} – додаткові елементи та фурнітура.

Критерій *y3* «Ринкова ціна» формують фактори: X_{31} – вартість матеріалів та компонентів вікна; X_{32} – конфігурація та складність конструкції вікна; X_{33} – виробник, бренд, регіональні фактори.

Критерій *y4* «Захист від злому» визначено факторами: X_{41} – стійкість основних елементів до злому (профіль, склопакет); X_{42} – наявність додаткових зламостійких елементів (фурнітури, протизламні пари, замки).

Критерію *y*5 «Стійкість вікон до вибухової хвилі» визначено факторами: X_{51} – вибухостійкість вікна (клас тривкості); X_{52} – міцнісні характеристики; X_{53} – розмір (площа) скляних ділянок (шибок). Критерію *y*5 «Стійкість вікон до вибухової хвилі» є новим при прийнятті рішення щодо вибору віконної конструкції.

Визначено рівень оцінки кожного критерію за відповідними факторами впливу. Зазначені фактори та критерії є основою для розробки моделі прийняття рішень при вибору раціонального варіанту віконної конструкції будівлі з врахуванням безпекової ситуації.

Матеріали розділу були основою для розробки патенту на корисну модель «Вікно зі зміним коефіцієнтом теплопередачі» [50]. Матеріали досліджень представлені у розділі викладені у публікаціях автора [7, 43, 44, 69, 70, 71, 75, 83].

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЬ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ ВІКОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

3.1 Інтегральний критерій прийняття рішень

Вважатимемо відомими такі варіанти віконних конструкцій: $V_1, V_2, \ldots, V_m$. З цих m варіантів потрібно обрати один, який найкраще відповідає одночасно усім критеріям щодо енергоефективності, складності конструкції, ринкової ціни, захищеності від стороннього проникнення та безпечності. В термінах теорії прийняття рішення варіанти віконних конструкцій $V_1, V_2, \ldots, V_m$ назвемо альтернативами, а обраний варіант – рішенням. Рішення позначимо символом D.

Вважатимемо, що кожна альтернатива відповідає усім вимогам проєктування світлопрозорих конструкцій за ДБН. При цьому, випадок прийняття рішень не є тривіальним, тобто не таким, коли одна альтернатива переважає інші за усіма критеріями. Одна альтернатива краще за якоюсь підмножиною частинних критеріїв, інша – краще за іншою підмножиною частинних критеріїв. Відповідно, усі альтернативи перебувають у зоні компромісу і вибір рішення обумовлюється вагомістю частинних критеріїв та значущістю переваг.

Для прийняття рішення доцільно відповідність альтернатив кожному із критеріїв пронормувати на єдиний інтервал, наприклад, на [0, 10]. Розглядається задача вибору, а не оцінювання альтернатив, тому достатньо, щоб пронормовані критерії відображали перевагу альтернативи над іншими, а не оцінювали абсолютні значення.

Пронормовані значення критеріїв позначимо так:

Y_1 – рівень енергоефективності;

Y_2 – рівень архітектурної привабливості;

Y_3 – ціновий рівень;

Y_4 – рівень захисту від злому;

Y_5 – рівень стійкості до вибухової хвилі.

Чим вище значення частинних критеріїв Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, тим краща альтернатива у порівнянні з іншими, тим сильніша її перевага.

Усі альтернатива перебувають у зоні компромісу, тому для вибору кращої із них пропонується модель прийняття рішення на основі інтегрального критерію. Як рішення обирається альтернатива з найбільшим значенням інтегрального критерію Y:

$$D = \arg \max\left(Y\left(V_1\right), Y\left(V_2\right)...Y\left(V_m\right)\right). \quad (3.1)$$

Як інтегральний критерій пропонується зважена сума пронормованних частинних критеріїв:

$$Y = w_1 Y_1 + w_2 Y_2 + w_3 Y_3 + w_4 Y_4 + w_5 Y_5, \quad (3.2)$$

де w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 – коефіцієнти важливості частинних критеріїв Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 відповідно.

Коефіцієнт важливості – це число з інтервалу (0, 1), яке показує вплив частинного критерію на прийняття рішення. Чим більше ваговий коефіцієнт, тим важливіше відповідний частинний критерій.

Відповідно до правил регуляризації, введемо таке обмеження:

$$w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 = 1. \quad (3.3)$$

Тоді, інтегральний критерій прийматиме значення з того з інтервалу, що і частинні критерії, тобто з інтервалу [0, 10].

Прийняттю рішень за формулою (3.1) передує визначення значень частинних критерій Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 для кожної альтернативи та визначення коефіцієнтів важливості w_1, w_2, w_3, w_4, w_5. Визначити ці значення пропонується за методом парних порівнянь Сааті.

3.2 Визначення значень частинних критеріїв

Запропонована модель прийняття рішень (3.2) є лінійною відносно пронормованних частинних критеріїв. Це означає, що зміна значення якогось частинного критерію на 1 від будь-якого початкового значення призводить до фіксованої зміни інтегрального критерію. Наприклад, якщо у альтернативи оцінка за критерієм Y_1 змінилася з 0 до 1, або з 4 до 5, або з 9 до 10, то ефект від усіх цих трьох змін, їх вплив на інтегральний критерій Y має бути однакови 0 м. Але, оцінювання енергоефективності здійснюється за шкалою щодо саме рівня енергоефективності (див. підр. 2.2), а не впливу його на прийняття рішення щодо вибору віконної конструкції. Тому, потрібне деяке правило нелінійної трансформації $y1 \to Y_1$, нелінійного перетворення шкали енергоефективності $\mathrm{A}++, \mathrm{A}+, \mathrm{A}, \mathrm{B}, \mathrm{C}$ на інтервал [0, 10]. Аналізована задача прийняття рішень є новою, тому проблематично віднайти таке формальне відображення, яке було б достовірним за усіх комбінацій факторів.

Оцінювання значень критеріїв Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 для альтернатив $V_1, V_2, \dots, V_m$ пропонується здійснити за методом парних порівнянь Сааті. Воно здійснюється експертно на підставі інформації про значення критеріїв $y1, y2, y3, y4, y5$. При цьому, експерт має можливість врахувати і слабкоформалізуєму інформацію про призначення будівельного об'єкту, цільову аудиторію та політику забудовника.

Оцінювання за кожним із критеріїв Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 та Y_5 відбувається незалежно. Тому, подальші викладки зробимо для одного критерію Y_1. Для інших критеріїв усі дії будуть ідентичні, лише з відмінною в індексі.

Експерт на підставі попередньо зібраної інформації про $y_1(V_1), y_1(V_2), \dots, y_1(V_m)$ попарно визначає перевагу однієї альтернативи над іншою. Для експерта такі парні порівняння зробити легше та зручніше, ніж приписувати кожному значенню критерію $y1$ відповідне значення критерію Y_1 із дотриманням лінійності ефекту на інтегральний критерій Y. Експерт спершу обирає яка із альтернатив в парі краща, і оцінює лінгвістично рівень її переваги з використанням такої дев'ятибальної шкали Сааті [65, 66]:

1 – перевага відсутня;

2 – ледь слабка перевага;

3 – слабка перевага;

4 – майже помірна перевага;

5 – помірна перевага;

6 – майже явна перевага;

7 – явна перевага;

8 – майже абсолютна перевага.

9 – абсолютна перевага.

Після того, як експерт оцінив рівень переваг для кожної пари альтернатив записується матриця парних порівнянь:

$$\mathbf{A_1} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \ldots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} \ldots & a_{2m} \\ \ldots & & \\ a_{m1} & a_{m1} \ldots & a_{mm} \end{bmatrix}, \tag{3.4}$$

де a_{ij} – рівень переваги альтернативи V_i над альтернативою V_j, $i = 1, 2, \ldots, m$, $j = 1, 2, \ldots, m$, при чому $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ та $a_{ii} = 1$.

В подальшому за цією матрицею здійснюється узагальнення лінгвістичних оцінок переваг шляхом перетворення їх в числові значення $Y_1(V_1), Y_1(V_2), \ldots, Y_1(V_m)$. Математично, процедура полягає в знаходження власного вектора **S** і власного значення λ_{max} матриці парних порівнянь:

$$\mathbf{A}_1 \cdot \mathbf{S} = \lambda_{max} \cdot \mathbf{S}. \tag{3.5}$$

Координати власного вектора відповідають шуканим значенням, але їх потрібно пронормувати таким чином:

$$Y_1(V_1) = 10 \cdot \frac{\mathrm{S_1}}{\mathrm{S_1+S_2+\cdots+S_m}}; \tag{3.6}$$

$$Y_1(V_2) = 10 \cdot \frac{\mathrm{S_2}}{\mathrm{S_1+S_2+\cdots+S_m}};$$

…

$$Y_1(V_m) = 10 \cdot \frac{\mathrm{S_m}}{\mathrm{S_1+S_2+\cdots+S_m}},$$

де S_1 ……..S_m – координати власного вектора **S**.

За трьох альтернатив, коли $m = 3$, потрібні 3 парні порівняння, за чотирьох альтернатив – 6 парних порівнянь, за пяти альтернатив – 10 парних порівнянь. Якщо парних порівнянь багато, тоді знижуються ризик, що помилкове визначення рівня переваги для однієї якісь пари альтернатив спотворить результуючі значення. Така стійкість до викидів закладена у математичній процедурі знаходження власного вектора матриці. Окрім того, узгодженість парних експертних порівнянь в матриці (3.4) можна перевірити за максимальним власним значенням λ_{max}. Якщо λ_{max} приблизно дорівнює m, тоді експертні оцінки належним чином узгоджені.

Приклад. Розглядаються чотири альтернативи V_1, V_2, V_3 та V_4. Рівень енергоефективності альтернат є таким:

$y1(V_1) = A++;$

$y1(V_2) = A;$

$y1(V_3) = B;$

$y1(V_4) = C.$

Вважатимемо, що експертні оцінки рівня попарних переваг є такими:

майже помірна перевага V_1 над V_2;

помірна перевага V_1 над V_3;

явна перевага V_1 над V_4;

майже помірна перевага V_2 над V_3;

помірна перевага V_2 над V_4;

слабка перевага V_3 над V_4.

Наведеним парним порівнянням відповідає така матриця:

$$\mathbf{A_1} = \begin{array}{c} \begin{matrix} V_1 & V_2 & V_3 & V_4 \end{matrix} \\ \left\| \begin{matrix} 1 & 4 & 5 & 7 \\ 1/4 & 1 & 4 & 5 \\ 1/5 & 1/4 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{matrix} \right\| \end{array} \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix}$$

Власний вектор цієї матриці парних порівнянь дорівнює:

$$\mathbf{S} = (0.903\ 0.391\ 0.16\ 0.08).$$

Після нормування, отримуємо такі значення:

$Y_1(V_1) = 5.88;$

$Y_1(V_2) = 2.55;$

$Y_1(V_3) = 1.04;$

$Y_1(V_4) = 0.52.$

Власне значення матриці парних порівнянь дорівнює $\lambda_{max} = 4.24$. Воно є близьким до кількості альтернатив. Це означає, що парні порівняння узгоджені між собою, тому результат оцінювання критеріальних значень альтернатив є достовірними.

3.3 Підхід до визначення вагових коефіцієнтів

Прийняття рішень здійснюється на основі формули (3.2), яка містить 5 вагових коефіцієнтів. Чотири вагових коефіцієнти враховують важливість чотирьох традиційних критерієв Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, а п’ятий ваговий коефіцієнт враховує важливість безпекового критерію – рівню стійкості до вибухової хвилі Y_5. Важливість безпекового критерію є варіативною, вона сильно залежить від зовнішніх умов, таких як близькість розташування об’єктів до лінії поточних або потенційних військових дій, близькість до об’єктів критичної або воєнної інфраструктури, які є потенційними цілями ворожих атак. Важливості інших критерієв є більш-менш сталими.

Пропонується така ідея щодо розподілу важливості коефіцієнтів.

На першому етапі розподіляється важливість поміж чотирьох традиційних критеріїв Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, вважаючи що безпекового критерію Y_5 не існує. Сума вагових коефіцієнтів цих чотирьох критеріїв дорівнює 1.

$$w_1^{\text{п}} + w_2^{\text{п}} + w_3^{\text{п}} + w_4^{\text{п}} = 1. \qquad (3.7)$$

де $w_1^{\text{п}}, w_2^{\text{п}}, w_3^{\text{п}}, w_4^{\text{п}}$ – вагові коефіцієнтів цих чотирьох критеріїв Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, на першому етапі розрахунку.

На другому етапі визначається важливість безпекового критерію Y_5 – стійкості до вибухової хвилі, відповідно оцінюється його ваговий коефіцієнт w_5. На основі визначеного значення w_5 вагові коефіцієнти чотирьох традиційних критеріїв Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 перенормовуються, так щоб їх сума усіх п`яти коефіцієнтів дорівнювала одиниці за формулою (3.3). Нормування здійснюємо таким чином:

$$\begin{aligned} w_1 &= w_1^{\text{п}} \cdot (1 - w_5); \\ w_2 &= w_2^{\text{п}} \cdot (1 - w_5); \\ w_3 &= w_3^{\text{п}} \cdot (1 - w_5); \\ w_4 &= w_4^{\text{п}} \cdot (1 - w_5). \end{aligned} \tag{3.8}$$

Запропонований підхід дозволяє швидко підлаштувати попередньо визначені вагові коефіцієнти традиційних критеріїв відповідно до поточних ризиків з точки зору безпеки. При цьому, співвідношення вагомостей між традиційними критеріями залишаються сталими.

3.4 Визначення співвідношень важливості традиційних критеріїв

Вагові коефіцієнти $w_1^{\text{п}}, w_2^{\text{п}}, w_3^{\text{п}}, w_4^{\text{п}}$ для традиційних критеріїв Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 пропонується визначити за методом парних порівнянь Сааті, аналогічно, як це було зроблено в підр. 3.2 для оцінювання значень частинних критеріїв альтернатив. Експерт попарно визначає перевагу щодо важливості одного критерія над іншим з використанням дев’ятибальної шкали Сааті. За цими лінгвістичними порівняннями формується матриця парних порівнянь, визначається її власний вектор і на його основі розраховуються значення вагових коефіцієнтів.

У сучасному будівництві багатоповерхових будівель забудовники поділяють новобудови за класом комфортності. Нормативно визначної

градації за рівнем комфортності немає, але за місцем розташування, технічними характеристиками будівлі, прибудинковою територією, соціальною інфраструктурою, системою розумний будинок, та іншими ознаками забудовники поділяють новобудови на «економ-клас», «комфорт-клас», «бізнес-клас», «преміум-клас» [85, 86]. Різниця між «бізнес-клас» та «преміум-клас» полягає в основному в ексклюзивних ознаках, які не впливають на прийняття рішень з вибору віконних конструкцій, тому такі будівлі об'єднаємо в одну групу, яку назвемо «еліт-клас». Відповідно цінова політика забудовника та рівень замовників у даних групах будівель різний, що важливо врахувати у моделі багатокритеріального вибору віконних конструкцій. Тому при визначенні співвідношень важливості традиційних критеріїв розглянемо 3 класи багатоповерхових новобудов: «економ-клас», «комфорт-клас», «еліт-клас». Рейтинговий список та парні порівняння традиційних критеріїв Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 для будівель різного класу комфортності були визначені за допомогою експертів з продажу нерухомості (Агенція нерухомості «Берегиня» м. Вінниця).

Для новобудов ***«економ-класу»*** рейтинговий список традиційних критеріїв є таким:

Y_3 – ціновий рівень;

Y_1 – рівень енергоефективності;

Y_2 – рівень архітектурної привабливості;

Y_4 – рівень захисту від злому.

Експертні оцінки рівня попарних переваг є такими:

(2) ледь слабка перевага Y_3 над Y_1;

(4) майже помірна перевага Y_3 над Y_2;

(7) явна перевага Y_3 над Y_4;

(3) слабка перевага Y_1 над Y_2;

(5) помірна перевага Y_1 над Y_4;

(4) майже помірна перевага Y_2 над Y_4.

Наведеним парним порівнянням відповідає така матриця:

$$\mathbf{A}_{\mathbf{C}_{\mathbf{Econom}}} = \begin{array}{c} \begin{matrix} Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 \end{matrix} \\ \left\| \begin{matrix} 1 & 3 & 1/2 & 5 \\ 1/3 & 1 & 1/4 & 4 \\ 2 & 4 & 1 & 7 \\ 1/5 & 1/4 & 1/7 & 1 \end{matrix} \right\| \end{array} \begin{matrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \end{matrix}$$

Власний вектор цієї матриці парних порівнянь дорівнює:

$$\mathbf{S} = (0.503\ 0.235\ 0.827\ 0.089).$$

Після нормування, отримуємо такі значення:

$w_1^{\text{п}} = 0.31;\ w_2^{\text{п}} = 0.14;\ w_3^{\text{п}} = 0.5;\ w_4^{\text{п}} = 0.05.$

Власне значення матриці парних порівнянь дорівнює $\lambda_{max} = 4.1$. Воно є близьким до 4 – до кількості критеріїв. Це означає, що парні порівняння узгоджені між собою, тому результат оцінювання важливостей традиційних критеріїв є достовірними.

Для новобудов ***«комфорт-класу»*** рейтинговий список традиційних критеріїв є таким:

Y_1 – рівень енергоефективності;

Y_2 – рівень архітектурної привабливості;

Y_3 – ціновий рівень;

Y_4 – рівень захисту від злому.

Експертні оцінки рівня попарних переваг є такими:

(2) ледь слабка перевага Y_1 над Y_2;

(3) слабка перевага Y_1 над Y_3;

(5) помірна перевага Y_1 над Y_4;

(2) ледь слабка перевага Y_2 над Y_3;

(4) майже помірна перевага Y_2 над Y_4;

(4) майже помірна перевага Y_3 над Y_4.

Наведеним парним порівнянням відповідає така матриця:

$$\mathbf{A}_{\mathbf{C}_{\mathbf{Comfort}}} = \begin{array}{c|cccc|c} & Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 & \\ \hline & 1 & 2 & 3 & 5 & Y_1 \\ & 1/2 & 1 & 2 & 4 & Y_2 \\ & 1/3 & 1/2 & 1 & 4 & Y_3 \\ & 1/5 & 1/4 & 1/4 & 1 & Y_4 \end{array}$$

Власний вектор цієї матриці парних порівнянь дорівнює:

$$\mathbf{S} = (0.807\ 0.485\ 0.316\ 0.117).$$

Після нормування, отримуємо такі значення:

$w_1^{\text{п}} = 0.47;\ w_2^{\text{п}} = 0.28;\ w_3^{\text{п}} = 0.18;\ w_4^{\text{п}} = 0.07.$

Власне значення матриці парних порівнянь дорівнює $\lambda_{max} = 4.09$. Воно є близьким до 4 – до кількості критеріїв. Це означає, що парні порівняння узгоджені між собою, тому результат оцінювання важливостей традиційних критеріїв є достовірними.

Для новобудов ***«еліт-класу»*** рейтинговий список традиційних критеріїв є таким:

Y_2 – рівень архітектурної привабливості;

Y_4 – рівень захисту від злому;

Y_1 – рівень енергоефективності;

Y_3 – ціновий рівень.

Експертні оцінки рівня попарних переваг є такими:

(3) слабка перевага Y_2 над Y_4;

(4) майже помірна перевага Y_2 над Y_1;

(8) майже абсолютна перевага Y_2 над Y_3;

(2) ледь слабка перевага Y_4 над Y_1;

(6) майже явна перевага Y_4 над Y_3;

(5) помірна перевага Y_1 над Y_3.

Наведеним парним порівнянням відповідає така матриця:

$$\mathbf{A}_{\mathbf{C_{Elite}}} = \begin{array}{c} \begin{matrix} Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 \end{matrix} \\ \left\| \begin{matrix} 1 & 1/4 & 5 & 1/2 \\ 4 & 1 & 8 & 3 \\ 1/5 & 1/8 & 1 & 1/6 \\ 2 & 1/3 & 6 & 1 \end{matrix} \right\| \end{array} \begin{matrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \end{matrix}$$

Власний вектор цієї матриці парних порівнянь дорівнює:

$$\mathbf{S} = (0.2493 \quad 0.8822 \quad 0.0723 \quad 0.3928).$$

Після нормування, отримуємо такі значення:

$w_1^{\text{п}} = 0.16;\ w_2^{\text{п}} = 0.55;\ w_3^{\text{п}} = 0.05;\ w_4^{\text{п}} = 0.24.$

Власне значення матриці парних порівнянь дорівнює $\lambda_{max} = 4.12$. Воно є близьким до кількості альтернатив. Це означає, що парні порівняння узгоджені між собою, тому результат оцінювання важливостей традиційних критеріїв є достовірними.

Вагові коефіцієнти $w_1^{\text{п}}, w_2^{\text{п}}, w_3^{\text{п}}, w_4^{\text{п}}$ чотирьох традиційних критеріїв Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 визначені першому етапі моделювання для будівель різного класу комфортності наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Вагові коефіцієнти $w_1^{\text{п}}, w_2^{\text{п}}, w_3^{\text{п}}, w_4^{\text{п}}$

клас комфортності будівлі	Вагові коефіцієнти			
	$w_1^{\text{п}}$	$w_2^{\text{п}}$	$w_3^{\text{п}}$	$w_4^{\text{п}}$
Економ класу	0.31	0.14	0.50	0.05
Комфорт-класу	0.47	0.28	0.18	0.07
Еліт класу	0.16	0.55	0.05	0.24

Порівняння важливостей $w_1^{\text{п}}, w_2^{\text{п}}, w_3^{\text{п}}, w_4^{\text{п}}$ чотирьох традиційних критеріїв Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, що визначені першому етапі моделювання представлено на рис. 3.1. Для «економ-класу» домінатним критерієм є ціна, для «комфорт-

класу» домінатним критерієм є енергоефективність, а для «еліт-класу» – архітектурно-естетична привабливість.

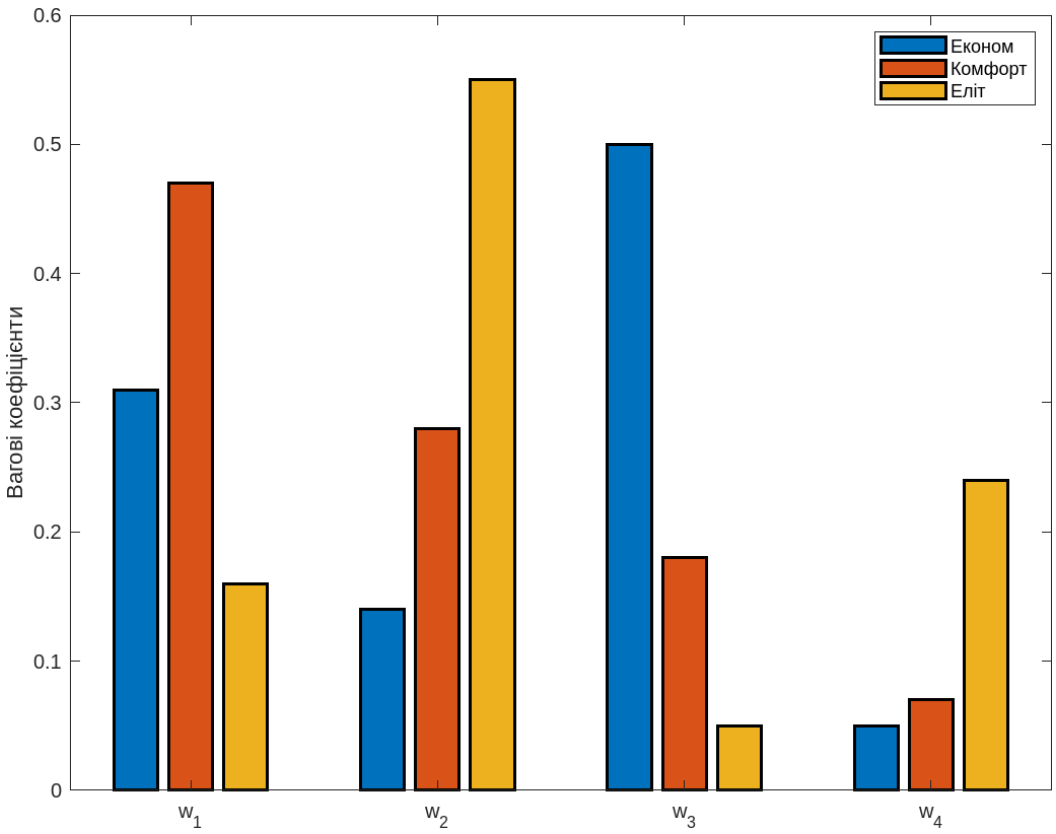


Рисунок 3.1 – Порівняння розподілу важливостей критеріїв Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 на першому етапі моделювання

3.5 Модель оцінки важливості врахування безпекової ситуації під час вибору віконних конструкцій

Оцінку важливості врахування безпекової ситуації під час вибору віконних конструкцій буде визначити коефіцієнт вагомості критерію Y_5 Розміри зон ураження об’єктів при вибуху визначаються значеннями надлишкового тиску та імпульсу повітряної ударної хвилі. Рівень критерію критерій *y5*, що визначає рівень стійкості до вибухової хвилі визначається за міцністю скляних матеріалів, стійкістю рами, розміром та площею скляних ділянок, конструктивними характеристиками рами та анкерування вікна, що

детально визначено у підрозділі 2.6. Питання безпеки при виборі віконної конструкції набуло актуальності в умовах перебування України у воєнному стані, тому вагомість критерію Y_5 визначимо ризиками пошкодження саме через бойові дії. Цей ризик залежить від кількох чинників, а саме, від відстані до зон бойових дій, а також від розташованих в околі об'єктів, які можуть бути потенційними цілями. Коефіцієнт важливості w_5 критерію пропонується розрахувати таким чином:

$$w_5 = w_{51} + w_{52} + w_{53}, \tag{3.9}$$

де w_{51} – коефіцієнт, що враховує віддаленість від зони бойових дій;

w_{52} – коефіцієнт, що враховує віддаленість від об'єктів можливих ракетно-бомбових атак – військових частин, об'єктів військово-промислового комплексу, аеродромів, електростанцій, нафтобаз та інших інфраструктурних об'єктів;

w_{53} – коефіцієнт, що враховує кількість об'єктів можливих ракетно-бомбових атак.

Максимальне значення коефіцієнту w_5 обмежимо на рівні 0.55. Верхня межа відповідає максимальному значенню коефіцієнта вагомості одного із традиційних критеріїв, а саме $w_2^{\text{п}}$ для рівня енергоефективності Y_2 під час прийняття рішень щодо вибору вікон для новобудов еліт-класу. Нижній рівень визначається коефіцієнтом базової безпечності. Рівень базової безпечності $w_{53} = 0.05$ обрано за аналогією з мінімальними значеннями вагових коефіцієнтів традиційних критеріїв.

Сумарний внесок від w_{51}, w_{52} та w_{53} знаходиться в інтервалі $[0.05, 0.55]$. Співвідношення між внесками w_{51}, w_{52} та w_{53} в коефіцієнті важливості w_5 оцінимо за парними порівняннями, які були визначені за аналізом проведеним у підр. 2.6 та допомогою провідних фахівців у проєктуванні («Подільський проєктний інститут, м. Вінниця) :

явна перевага w_{51} над w_{53};

помірна перевага w_{51} над w_{52};

слабка перевага w_{52} над w_{53}.

Наведеним парним порівнянням відповідає така матриця:

$$\boldsymbol{A_{w_5}} = \begin{array}{c} \begin{matrix} w_{51} & w_{52} & w_{53} \end{matrix} \\ \left\| \begin{matrix} 1 & 5 & 7 \\ 1/5 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/3 & 1 \end{matrix} \right\| \end{array} \begin{matrix} w_{51} \\ w_{52} \\ w_{53} \end{matrix}$$

Власний вектор цієї матриці парних порівнянь дорівнює:

$$\mathbf{S} = (0.217 \;\; 0.8 \;\; 0.07 \;\; 0.555).$$

Власне значення матриці парних порівнянь дорівнює $\lambda_{max} = 3.07$. Воно є близьким до кількості альтернатив. Це означає, що парні порівняння узгоджені між собою, тому результат оцінювання важливостей традиційних критеріїв є достовірними. Після нормування на 0.55, отримуємо такі максимально-можливі значення коефіцієнтів:

$w_{51} = 0.4$; $w_{52} = 0.1$; $w_{53} = 0.05$.

Оцінювання коефіцієнту w_{51} здійснимо на основі просторової організації відповідно до рис. 3.2, що представлено у проєкті оновлення ДСР 2027 “Державна стратегія регіонального розвитку на 2021-2027 роки в Україні” [91]. Території України за показником безпеки визначено так:

- територія не придатна для проживання та ведення економічної діяльності – 5 км вздовж лінії фронту та україно-російського та україно-білоруського кордонів;
- територія найбільшої небезпеки для проживання та ведення економічної діяльності – 30 км вздовж лінії фронту та україно-російського кордону;
- макрорегіон ***Фронтир*** – небезпечна територія в межах 100 км вздовж лінії фронту та україно-російського кордону. До його складу входять Миколаївська, Одеська, Херсонська, Запорізька, Донецька, Луганська, Харківська, Сумська та Чернігівська області.
- макрорегіон ***Опора*** є умовно безпечним; він зазнає менших втрати від війни та має кращі можливості для розвитку галузей економіки, які потрібні в першу чергу Україні для перемоги. Цей макрорегіон

утворюють Дніпропетровська, Полтавська, Київська, Черкаська, Кіровоградська та Житомирська області;

- макрорегіон ***Тил*** є найбільш безпечним. Його утворюють Вінницька, Хмельницька, Тернопільська, Чернівецька, Волинська, Рівенська, Львівська, Івано-Франківська та Закарпатська області.

- Територія найбільшої небезпеки будемо називати макрорегіон *Рубіж*.

Рисунок 3.2 – Макрорегіони України за рівнем безпеки [91]

Рейтинговий список макрорегіонів стосовно важливості w_{51} є таким:

R_1 – Рубіж;

R_2 – Фронтир;

R_3 – Опора;

R_4 – Тил.

Експертні оцінки рівня попарних переваг є такими:

(3) слабка перевага R_1 над R_2;

(6) майже явна перевага R_1 над R_3;

(9) абсолютна перевага R_1 над R_4;

(5) помірна перевага R_2 над R_3;

(6) майже явна перевага R_2 над R_4;

(5) помірна перевага R_3 над R_4.

Наведеним парним порівнянням відповідає така матриця:

$$\mathbf{A_{w_{51}}} = \begin{array}{c} \begin{matrix} R_1 & R_2 & R_3 & R_4 \end{matrix} \\ \left\| \begin{matrix} 1 & 3 & 6 & 9 \\ 1/3 & 1 & 5 & 6 \\ 1/6 & 1/5 & 1 & 5 \\ 1/9 & 1/6 & 1/5 & 1 \end{matrix} \right\| \end{array} \begin{matrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{matrix}$$

Власний вектор цієї матриці парних порівнянь дорівнює:

$$\mathbf{S} = (0.7699 \quad 0.5971 \quad 0.2120 \quad 0.0765).$$

Власне значення матриці парних порівнянь дорівнює $\lambda_{max} = 3.97$. Воно є близьким до 4 – до кількості критеріїв. Це означає, що парні порівняння узгоджені між собою, тому результат оцінювання є достовірними. Після нормування власного вектора на інтервал [0.05 0.4], отримуємо такі значення:

$w_{51}(R_1, \text{Рубіж}) = 0.4$;

$w_{51}(R_2, \ \text{Фронтир}) = 0.31$;

$w_{51}(R_3, \ \text{Опора}) = 0.11$;

$w_{51}(R_4, \ \text{Тил}) = 0.05$.

Для оцінювання коефіцієнту w_{52} віддаленість від потенційних цілей ракетно-бомбових атак врахуємо таку інформацію, як наявність поблизу об’єктів, що мають потенційне стратегічне значення та наявність поблизу будівель які мають вибухопожежно небезпечні виробництва категорії А, Б згідно ДСТУ [92]. До об’єктів, що мають потенційне стратегічне значення відносимо:

1. Військові об'єкти - військові частини, військові бази, об'єкти оборони та стратегічні комунікації підприємства воєнно-промислового комплексу.
2. Критичні інфраструктурні об'єкти, такі як електростанції, водні споруди, нафтові і газові термінали, трубопроводи та комунікаційні мережі, енергетичні об’єкти.
3. Економічно важливі об'єкти, такі як промислові зони, торгові порти та аеропорти, які забезпечують логістичну підтримку та обмін товарів.
4. Об'єкти інформаційної та технологічної інфраструктури, такі як центри оброблення даних, дослідницькі центри та важливі технологічні підприємства.

Розташування таких об’єктів поблизу житлової будівлі збільшує вагомість критерію Y_5 – стійкість до вибухової хвилі, відповідно якщо такий об’єкт не один, то вагомість критерію підвищується. Для визначення близькості розташування (відстані) від перелічених об’єктів до житлової будівлі проаналізуємо відомі нормативи та дослідження.

Державні будівельні норми ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування і забудова територій» [93] визначають протипожежні розриви (протипожежні відстані) між житловими будівлями та спорудами громадського обслуговування від 6 м до 300 м залежно від їх призначення. Відстань від житлових будинків до: спеціалізованих районів нових морських і річкових портів за вимогами [93] приймають не менше 300 м; від резервуарі, і зливо-наливних пристроїв легкозаймистих і горючих рідин на складах I категорії - не менше 200 м та не менше 100 м - на складах II-III категорій. Відстань від автовокзалів до житлової забудови повинна бути не менше 100 м, а від автостанцій - 50 м відповідно та відокремлюватись від цієї забудови. Відстані від станцій технічного обслуговування (СТО) до житлових і громадських будинків не менше 15 – 50 м.

Дію ударної хвилі проаналізовано у підр. 2.6, зона дії ударної хвилі залежить від маси, що вибухає та відстані до об’єкта при вибуху, за яким визначають надлишковий тиск (табл. 2.7) руйнування скління (звичайного

скла) відбувається при створенні надлишкового тиску ΔР = 2кПа (10% і більше) і повне руйнування скла відбувається при ΔР = 7кПа. З урахуванням викладеного, виділимо дві небезпечні зони.

В зоні великої небезпеки сусідства, коли відстань до потенційних цілей не перевищує 300 м значення коефіцієнту w_{52} приймемо рівним 0.1. В зоні середньої небезпеки сусідства, коли відстань до потенційних цілей знаходиться в діапазоні [300, 700] метрів значення коефіцієнту w_{52} приймемо рівним 0.05. Вибір ширини зон враховує як руйнівну дію вибухової хвилі, так і точність влучання у ціль.

Якщо поблизу будівлі є кілька потенційних цілей, тоді ризику зростають. Такі ризики пропонується врахувати коефіцієнтом w_{53} у такий спосіб: якщо в радіусі 500 м від аналізованої будівлі є 2 або більше потенційних цілей, тоді значення цього коефіцієнту приймемо рівним $w_{53} = 0.05$.

Визначення вагових коефіцієнтів w_{51}, w_{52}, w_{53} для оцінки важливості критерію Y_5 стійкості до вибухової хвилі наведено у зведеній табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Вагові коефіцієнти w_{51}, w_{52}, w_{53} для оцінки важливості критерію Y_5

Визначення коефіцієнту		Значення
w_{51} коефіцієнт, що враховує віддаленість від зони бойових дій	R_1, Рубіж R_2, Фронтир R_3, Опора R_4, Тил	$w_{51}(R_1) = 0.4$; $w_{51}(R_2) = 0.31$; $w_{51}(R_3) = 0.11$; $w_{51}(R_4) = 0.05$
w_{52} коефіцієнт, що враховує віддаленість від об'єктів можливих ракетно-бомбових атак	відстань до потенційних цілей від проєктуємої будівлі до 300 м	w_{52} =0.1;
	відстань від проєктуємої будівлі до потенційних цілей в межах 300 - 700м	w_{52} =0.05
	Немає потенційних цілей	w_{52} =0.

Продовження таблиці 3.2

Визначення коефіцієнту		Значення
w_{53} коефіцієнт, що враховує кількість об'єктів можливих ракетно-бомбових атак.	наявні 2 або більше потенційних цілей в радіусі 500 м від проєктуємої будівлі	w_{53} =0.05.
	менше 2 потенційних цілей в радіусі 500 м від проєктуємої будівлі	w_{53} =0.0

Зазначимо, що якщо у межах міста є території які мають однакову оцінку за рівнем безпеки, тобто $(w_{52} + w_{53})$ є однаковими, і відповідно w_5, теж однаково для таких будівель. Такі території формують регіональний кластер безпеки. Регіональним кластером безпеки назвемо території, які мають однакову оцінку за рівнем безпеки.

Наприклад, якщо в межах міста:

$$w_{52} + w_{53} = 0.1 + 0.0 = 0.1;$$

або

$$w_{52} + w_{53} = 0.0.5 + 0.0.5 = 0.1;$$

то w_5 для таких об'єктів буде однаковим.

В межах міста, може бути 4 регіональних кластера безпеки, для яких $(w_{52} + w_{53})$ дорівнює 0; 0.05; 0.1 або 0.15.

Наведемо приклад розрахунку коефіцієнту важливості w_5 критерія стійкості до дії вибухової хвилі. Нехай аналізована будівля розташована в місті Полтава. На відстані 400 метрів від неї знаходиться електрична підстанція, а на відстані 350 м – завод військово-промислового комплексу.

Полтава входить у макрорегіон «Опора», тому $w_{51} = 0.11$.

Потенційні цілі знаходяться в зоні середньої небезпеки сусідства (350 м та 400 м), тому $w_{52} = 0.05$.

В п'ятисот метровому околі знаходиться 2 потенційних цілі, тому

$w_{53} = 0.05$.

Відповідно до формули (3.9):

$$w_5 = w_{51} + w_{52} + w_{53} = 0.11 + 0.05 + 0.05 = 0.21.$$

Нехай аналізована будівля відноситься до комфорт-класу з такими ваговими коефіцієнтами традиційних критеріїв (табл. 3.1):

$$w_1^{п} = 0.47;\ w_2^{п} = 0.28;\ w_3^{п} = 0.18;\ w_4^{п} = 0.07.$$

На ці чотири вагові коефіцієнти сумарно має припадати:

$$1 - w_5 = 1 - 0.21 = 0.79.$$

Після нормування вагових коефіцієнтів традиційних критеріїв за формулою (3.8) отримуємо такі значення:

$$w_1 = 0.47 \cdot 0.79 = 0.37;$$

$$w_2 = 0.28 \cdot 0.79 = 0.22;$$

$$w_3 = 0.18 \cdot 0.79 = 0.14;$$

$$w_4 = 0.07 \cdot 0.79 = 0.06;$$

$$w_5 = 0.21.$$

3.6 Висновки до розділу 3

1. Запропоновано інтегральну модель прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій враховує п’ять частинних критеріїв. Чотири частинні критерії є традиційними, вони оцінюють: енергоефективність; архітектурно-привабливість та функціональність; ринкову ціну та захист від злому. П’ятий критерій є новим, він оцінює стійкість до дії вибухової хвилі. Модель являє собою лінійну згортку зважених частинних критеріїв.

2. Значення частинних критеріїв, які необхідні для прийняття рішень, запропоновано визначати за результатами експертного попарного оцінювання переваг альтернатив. Попарне порівняння є більш зручним та легшим для експертів, ніж визначення абсолютних оцінок альтернатив. Окрім того, воно

дозволяє експерту взяти до уваги і слабкоформалізуєму інформацію про характеристики альтернатив.

3. Значення вагових коефіцієнтів частинних критеріїв запропоновано визначати поетапно. На першому етапі однократно визначається співвідношення між важливостями чотирьох традиційних критеріїв з використанням парних порівнянь за шкалою Сааті. На другому етапі визначається важливість п'ятого критерію щодо захищеності конструкції від руйнівного впливу вибухової хвилі, та здійснюється перенормування вагових коефіцієнтів традиційних критеріїв. Такий підхід дозволяє легко адаптувати модель до зміни безпекової ситуації.

4. Розраховано вагові коефіцієнти чотирьох традиційних критеріїв для багатоповерхових новобудов трьох класів: «економ-клас», «комфорт-клас», «еліт-клас». Для будівель «економ-класу» домінантним критерієм є ціна, для «комфорт-класу» домінатним критерієм є енергоефективність, а для «еліт-класу» – архітектурно-естетична привабливість.

5. Запропоновано модель оцінювання важливості врахування безпекової ситуації під час вибору віконних конструкцій житлових будівель. Модель враховує три складові: 1) близькість до зони бойових дій та до українсько-російського та україно-білоруського кордонів; 2) наближеність до інфраструктурних та воєнних об'єктів, які є потенційними цілями для ракетно-бомбових атака; 3) кількість потенційних цілей в околі будівлі. Модель являє собою суму трьох коефіцієнтів, кожен із яких оцінює відповідну складову.

Результати розділу опубліковано в роботах здобувача [35, 75].

РОЗДІЛ 4
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР ВІКОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ЗАПРОПОНОВАНИМ МЕТОДОМ

4.1 Опис альтернатив

Проілюструємо застосування запропонованого методу на прикладі вибору віконної конструкції з таких альтернатив як *V1, V2, V3, V4, V5* для житлового будинку. Усі альтернативи відповідають нормам, тобто є допустимими і з точки зору прийняття рішень знаходяться в зоні компромісу. Характеристики альтернатив (комерційні пропозиції) надано Вінницькою компанією “LUVIN” [94].

Альтернатива *V1.* Стандартне вікно з енергоефективним склопакетом, опір теплопередачі вікна 0,94 м^2·К/Вт; коефіцієнт теплопередачі вікна 1,06 Вт/(м^2·К); клас шумоізоляції Д. Ціна 9700 грн. (на 02.04.2024 р.). Характеристики вікна представлено на рис. 4.1.

Рисунок 4.1 – Альтернатива *V1*

Альтернатива *V2.* Вікно за параметрами енергоефективності нижче першої альтернативи, але в межах допустимих при виконанні виконання санітарно-гігієнічних вимог та вимог теплової надійності конструкції

зовнішньої стіни, має зламостійку фурнітуру, ціна 11937 грн (на 02.04 2024 р), характеристика вікна на рис. 4.2.

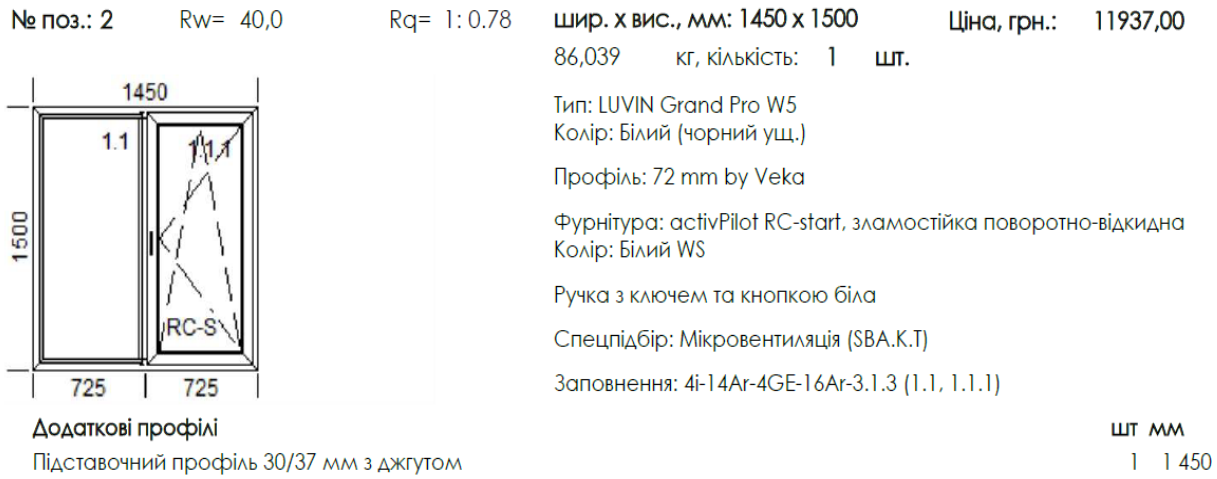


Рисунок 4.2 – Альтернатива *V2*

Альтернатива *V3.* Вікно протизламне, з профілем SL 70, вклеєним стулку склопакетом, склопакет зі склом триплекс, та протизламною фурнітурою, ціна 13096 грн. (на 02.04 2024 р.), характеристика вікна на рис. 4.3.

Рисунок 4.3 – Альтернатива *V3*

Альтернатива *V4.* Вікно більше за розмірами ніж альтернативи *V1, V2, V3.* Воно енергоефективне, немає протизламної фурнітури, ціна 14171 грн (на 02.04 2024 р); характеристика вікна на рис. 4.4.

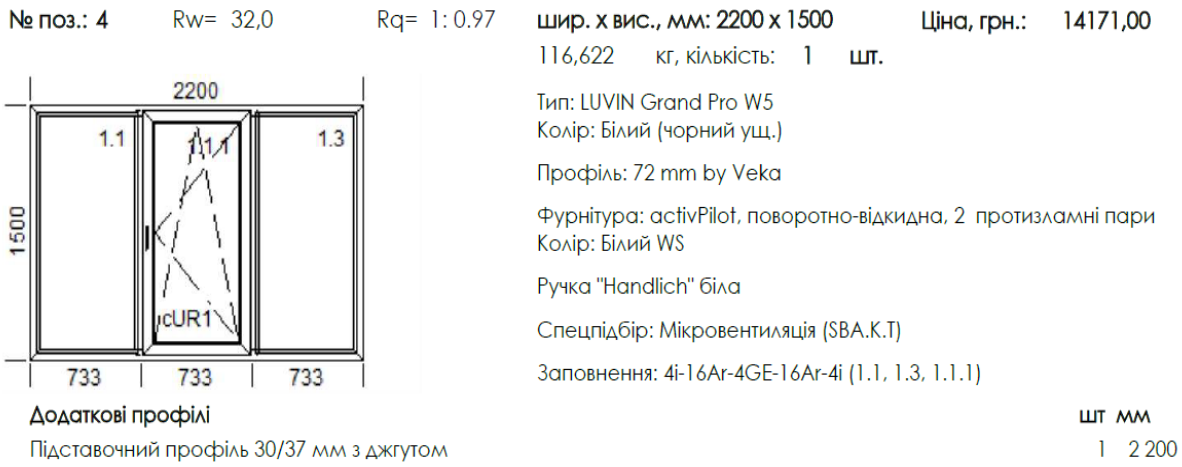


Рисунок 4.4 – Альтернатива *V4*

Альтернатива *V5.* Панорамне вікно є більш архітектурно привабливе, ніж альтернативи *V1, V2, V3, V4,* має високі характеристики енергоефективності, без додаткових функцій, має дві протизламні пари, профіль SL70, найдорожче серед всіх альтернатив ціною у 27269 грн (на 02.04 2024 р.); характеристика вікна на рис. 4.5.

Рисунок 4.5 – Альтернатива *V5*

Будівля, яка прийнята до розгляду розташована у І кліматичній зоні. Конструкція зовнішньої стіни:

- зовнішня опоряджувальна штукатурка δ =0,005 м, λ = 0,7 Вт/(м·К);
- утеплення мінераловатними плитами δ =180 мм; λ =0,04 Вт/ (м·К);
- кладка з цегли глиняної звичайної δ = 510 мм; λ = 0,81 Вт/(м·К);
- внутрішня штукатурка δ = 0,02 м, λ = 0,93 Вт/(м·К).

Мінераловатні плити кріпляться до несучої стіни за допомогою клеєного шару та пластикових дюбелів з металевим стрижнем. Кількість дюбелів з розрахунку 8 штук на 1м^2.

Фрагмент стіни що розглядається становить 2,7 м х 4,10 м. Опір теплопередачі стіни $R_{\Sigma} = 5{,}316$ м^2 К/Вт (розраховано у підрозд. 2.2). Санітарно-технічні вимоги та вимоги теплової надійності при представлених альтернативних варіантах вікон згідно п. 5.2.1 ДБН [5] дотриманні.

4.2 Оцінювання характеристик альтернатив

Оцінювання характеристик альтернатив *V1, V2, V3, V4, V5* проводиться за формалізованими факторами визначними у розділі 2.

4.2.1 Енергоефективність

Оцінювання критерію *y1* «Енергоефективність» для кожної альтернативи проводимо відповідно до формалізованих факторів X_{11}, X_{12} відповідно табл. 2.4. Опір теплопередачі вікна відповідно до даних виробника (рис. 4.1 – 4.5).

Приведений термічний опір теплопередачі R_{Σ} розраховано для фрагменту зовнішньої стіни 2,7 м х 4,10 м за формулою (2.5).

Результати формалізованих факторів X_{11}, X_{12} оцінювання критерію *y1* зведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Визначення факторів що визначають критерій *y1*

Фактор	Оцінка альтернативи				
	V1	*V2*	*V3*	*V4*	*V5*
X_{11} Опір теплопередачі вікна, м²·К/Вт	0,94 (клас В)	0,78 (клас С)	0,74 (клас Д)	0,97 (клас В)	0,97 (клас В)
X_{12} Приведений термічний опір зовнішньої стіни фрагменту, м² К/Вт	$R_{\Sigma} = 3,7$			$R_{\Sigma} = 3,4$	$R_{\Sigma} = 3,04$
	в межах нормативних значень при дотриманні санітарно-гігієнічних вимог та вимог теплової надійності конструкції				Нижче нормативних значень
Критерій *y1*	середній рівень	середній рівень	мінімальний рівень	середній рівень	низький рівень

Оцінюємо рівень переваг по критерію *y1* «Енергоефективність». Альтернативи розглядаємо у порядку їх енергоефективності *V4, V1, V2, V3, V5* маємо відповідні порівнювання*:*

(1) відсутня перевага *V4* над *V1*;

(4) майже помірна перевага *V4* над *V2;*

(6) майже явна перевага *V4* над *V3*;

(7) явна перевага *V4* над *V5*;

(4) майже помірна перевага *V1* над *V2 ;*

(6) майже явна перевага *V1* над *V3*;

(7) явна перевага *V1* над *V5*;

(3) слабка перевага *V2* над *V3*;

(5) помірна перевага *V2* над *V5*;

(4) майже помірна перевага *V3* над *V5*.

Наведеним парним порівнянням відповідає така матриця:

$$\mathbf{A}(\boldsymbol{Y_1}) = \begin{array}{c} \begin{matrix} V_1 & V_2 & V_3 & V_4 & V_5 \end{matrix} \\ \left\| \begin{matrix} 1 & 4 & 6 & 1 & 7 \\ 1/4 & 1 & 3 & 1/4 & 5 \\ 1/6 & 1/3 & 1 & 1/6 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 1 & 7 \\ 1/7 & 1/5 & 1/4 & 1/7 & 1 \end{matrix} \right\| \end{array} \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{matrix}$$

Власний вектор цієї матриці парних порівнянь дорівнює:

$$\mathbf{S} = (0.677,\ 0.246,\ 0.132,\ 0.677,\ 0.064)\ .$$

Власне значення матриці парних порівнянь дорівнює $\lambda_{max} = 5.2$. Воно є близьким до кількості альтернатив. Це означає, що парні порівняння узгоджені між собою. Після нормування, отримуємо такі значення:

$Y_1(V_1) = 3.77;$

$Y_1(V_2) = 1.37;$

$Y_1(V_3) = 0.73;$

$Y_1(V_4) = 3.77;$

$Y_1(V_5) = 0.36.$

4.2.2 Архітектурна привабливість та функціональність

Оцінювання альтернатив *V1, V2 , V3, V4*, *V5* за критерієм y_2 «Архітектурна привабливість та функціональність» проводимо відповідно до формалізованих факторів визначених у підр. 2.3 (табл. 2.5, табл. 2.6).

Приклад детального аналізу факторів X_{21}, X_{22}, X_{23} критерію y_2 наведено для альтернативи *V1* у таблиці 4.2.

Визначення критерію *y2* «Архітектурна привабливість та функціональність» альтернатив *V1, V2, V3, V4*, *V45* зведено у таблицю 4.3. Альтернативи які відносяться до одного рівня критерія *y2,* але мають відмінності, які можна врахувати при парних порівняннях.

Таблиця 4.2 – Детальна оцінка факторів X_{21}, X_{22}, X_{23} для альтернативи *V1*

Фактор	Оцінка	Опис фактору
X_{21} естетика та дизайн	Низький рівень	Форма, розмір, пропорцій вікна, стандартні.
X_{22} характеристики профілю, профільної системи та склопакету	Стандартні характеристики	Профіль та склопакет відповідають стандартному набору характеристик Немає додаткових комплексних конструкцій, відсутні додаткові функціональні структурні елементи.
X_{23} додаткові елементи та фурнітура	Наявні	Додатковими елементами є наявність вентиляційних пристосувань.

Таблиця 4.3 – Визначення критерію *y2* «Архітектурна привабливість та функціональність» альтернатив *V1, V2 , V3, V4*, *V5*

Фактор/ Критерій	Оцінка альтернативи				
	V1	*V2*	*V3*	*V4*	*V5*
X_{21} естетика та дизайн	Низький рівень	Низький рівень	Низький рівень	Середній рівень	Високий рівень
X_{22} характеристики профілю, профільної системи та склопакету	Стандартні	Середні	Високі	Стандартні	Середні
X_{23} додаткові елементи та фурнітура	мікро вентиляція	мікро вентиляція	мікро вентиляція	мікро вентиляція	мікро вентиляція
Критерій *y2*	Простий рівень	Простий рівень	Середній рівень	Середній рівень	Високий рівень

Для парних порівнянь альтернативи розглядаємо у порядку їх архітектурної привабливості *V5, V4, V3, V2, V1,* маємо відповідні порівнювання*:*

(4) майже помірна перевага *V5* над *V4*;

(6) майже явна перевага *V5* над *V3*;

(6) майже явна перевага *V5* над *V2*;

(7) явна перевага *V5* над *V1*;

(5) помірна перевага *V4* над *V3;*

(6) майже явна перевага *V4* над *V2* ;

(6) майже явна перевага *V4* над *V1*;

(2) ледь слабка перевага *V3* над *V2*;

(2) ледь слабка перевага *V3* над *V1;*

(2) ледь слабка перевага *V2* над *V1*.

Наведеним парним порівнянням відповідає така матриця:

$$\mathbf{A}(\mathbf{Y_2}) = \begin{array}{c} \begin{matrix} V_1 & V_2 & V_3 & V_4 & V_5 \end{matrix} \\ \left\| \begin{matrix} 1 & 1/2 & 1/2 & 1/6 & 1/7 \\ 2 & 1 & 1/2 & 1/6 & 1/6 \\ 2 & 2 & 1 & 1/5 & 1/6 \\ 6 & 6 & 5 & 1 & 1/4 \\ 7 & 6 & 6 & 4 & 1 \end{matrix} \right\| \end{array} \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{matrix}$$

Власний вектор цієї матриці парних порівнянь дорівнює:

$$\mathbf{S} = (0.0740 \quad 0.1014 \quad 0.1362 \quad 0.4531 \quad 0.8720).$$

Власне значення матриці парних порівнянь дорівнює $\lambda_{max} = 5.3$. Воно є близьким до кількості альтернатив. Це означає, що парні порівняння узгоджені між собою. Після нормування, отримуємо такі значення:

$Y_2(V_1)$ =0.45;

$Y_2(V_2)$ =0.62;

$Y_2(V_3)$ =0.83;

$Y_2(V_4)$ =2.77;

$Y_2(V_5) = 5.33$.

4.2.3 Ринкова ціна

Ціну альтернатив *V1, V2, V3, V4*, *V5* наведено у комерційній пропозиції (рис. 4.1 – 4.4.). Оцінювання проводимо відповідно до підр. 2.4. При однаковому розмірі вікон або, якщо альтернативи в однаковому ціновому сегменті, оцінку критерію *y3* робимо порівнянням по вартості у комерційній пропозиції виробника. Оцінювання критерію *y3* зведено у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Визначення критерію *Y3* альтернатив *V1, V2 , V3, V4*, *V5*

Фактор/ Критерій	Оцінка альтернатив				
	V1	*V2*	*V3*	*V4*	*V5*
Ціна, грн.	9700	11937	13096	14171	27269
Порівняння ціни	найнижча	середня	середня	найвища	висока
y3 Ринкова ціна	сегмент Оптимальний				сегмент Максимум

Для парних порівнянь альтернативи розглядаємо у порядку зростання ціни *V1, V2, V3, V4, V5,* маємо відповідні порівнювання*:*

(2) ледь слабка перевага *V1* над *V2;*

(3) слабка перевага *V1* над *V3*;

(4) майже помірна перевага *V1* над *V4*;

(8) майже абсолютна перевага *V1* над *V5*;

(2) ледь слабка перевага *V2* над *V3;*

(4) майже помірна перевага *V2* над *V4 ;*

(7) явна перевага *V2*над *V5*;

(2) ледь слабка перевага *V3 над V4;*

(6) майже явна перевага *V3 над V5;*

(5) помірна перевага *V4* над *V5*.

$$\mathbf{A(Y_3)} = \begin{array}{c} \begin{matrix} V_1 & V_2 & V_3 & V_4 & V_5 \end{matrix} \\ \left\| \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 8 \\ 1/2 & 1 & 2 & 4 & 7 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 2 & 6 \\ 1/4 & 1/4 & 1/2 & 1 & 5 \\ 1/8 & 1/7 & 1/6 & 1/5 & 1 \end{matrix} \right\| \end{array} \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{matrix}$$

Власний вектор цієї матриці парних порівнянь дорівнює:

$$\mathbf{S} = (0.7704,\ \ 0.5237,\ \ 0.3044,\ \ 0.1887,\ \ 0.0622)\ .$$

Власне значення матриці парних порівнянь дорівнює $\lambda_{max} = 5.17$. Воно є близьким до кількості альтернатив. Це означає, що парні порівняння узгоджені між собою. Після нормування, отримуємо такі значення:

$Y_3(V_1)$ =4.16

$Y_3(V_2)$ =2.83.

$Y_3(V_3)$ =1.65.

$Y_3(V_4) = 1.02.$

$Y_3(V_5) = 0.34.$

4.2.4 Захист від злому

Оцінювання критерію *y4* «Захист від злому» проводимо за факторами X_{41}, X_{42} відповідно до табл. 2.9, табл. 2.10 (підр. 2.5). Оцінювання критерію *y4* зведено у табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Критерій *y4* «Захист від злому» для альтернатив *V1, V2 , V3, V4*, *V5*

Фактор/ Критерій	Оцінка альтернатив				
	V1	*V2*	*V3*	*V4*	*V5*
X_{41} Стійкість основних елементів вікна до злому (профіль, склопакет)	Профіль 72mm by VEKA	Профіль 72mm by VEKA	Профіль VEKA SL70, склопакет триплекс вклеєний у стулку	Профіль 72mm by VEKA	Профіль VEKA SL70
X_{42} Наявність протизламних елементів	немає	зламостійка фурнітура, ручка з ключем	зламостійка фурнітура, ручка з ключем	дві протизламні пари	дві протизламні пари
Критерій *y4* захисту від злому	Мінімальний рівень	Середній рівень	Високий рівень	Мінімальний рівень	Мінімальний рівень

Альтернативи розглядаємо у порядку їх захищеності від проникнення: *V3, V2, V4, V5, V1*. Парні порівняння є такими*:*

(5) помірна перевага *V3* над *V2;*

(6) майже явна перевага *V3* над *V4*;

(6) майже явна перевага *V3* над *V5*;

(9) абсолютна перевага *V3* над *V1*;

(3) слабка перевага *V2* над *V4;*

(3) слабка перевага *V2* над *V5*;

(6) майже явна перевага *V2* над *V1*;

(1) відсутня перевага *V4* над *V5*;

(4) майже помірна перевага *V4* над *V1;*

(4) майже помірна перевага *V5* над *V1*.

Наведеним парним порівнянням відповідає така матриця:

$$\mathbf{A}(\mathbf{Y_4}) = \begin{array}{c} \begin{matrix} V_1 & V_2 & V_3 & V_4 & V_5 \end{matrix} \\ \left\| \begin{matrix} 1 & 1/6 & 1/9 & 1/4 & 1/4 \\ 6 & 1 & 1/5 & 3 & 3 \\ 9 & 5 & 1 & 6 & 6 \\ 4 & 1/3 & 1/6 & 1 & 1 \\ 4 & 1/3 & 1/6 & 1 & 1 \end{matrix} \right\| \end{array} \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{matrix}$$

Власний вектор цієї матриці парних порівнянь дорівнює:

$$\mathbf{S} = (0.056,\ 0.282,\ 0.93,\ 0.164,\ 0.164)\ .$$

Власне значення матриці парних порівнянь дорівнює $\lambda_{max} = 5.2$. Воно є близьким до кількості альтернатив. Це означає, що парні порівняння узгоджені між собою. Після нормування, отримуємо такі значення:

$Y_4(V_1)$ =0.35;

$Y_4(V_2)$ =2.05;

$Y_4(V_3)$ =5.75;

$Y_4(V_4) = 0.93$;

$Y_4(V_5) = 0.92$.

4.2.5 Стійкість до вибухової хвилі

Оцінювання стійкості вікон до дії вибухової хвилі *y5* проводимо за факторами відповідно до підр. 2.6. Оцінку критерію *y5* проводимо за формалізованими факторами X_{51}, X_{52}, X_{53} згідно табл. 2.16. Оцінювання критерію *y5* для всіх альтернатив зведено у табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Оцінювання критерію *y5* «Стійкість вікон до вибухової хвилі» альтернатив *V1, V2 , V3, V4*, *V5*

Фактор/ Критерій	Оцінка альтернатив				
	V1	*V2*	*V3*	*V4*	*V5*
X_{51} Вибухостійкість вікна (клас тривкості)	немає	немає	немає	немає	немає
X_{52} Міцнісні характеристики	стандартні хар-ки профілю та склопакету	стандартні хар-ки профілю та склопакету зламостійка фурнітура	підвищені хар-ки профілю та склопакету (триплекс) вклеєний у стулку, зламостійка фурнітура	стандартні хар-ки профілю та склопакету дві протизламні пари	стандартні хар-ки профілю та склопакету дві протизламні пари
X_{53} Розмір (площа) скляних ділянок	стандартне вікно	стандартне вікно	стандартне вікно	велике вікно	панорамне вікно
Критерій *y5* Стійкість до вибухової хвилі	мінімальний рівень (E)	низький рівень (D)	підвищений рівень (C)	мінімальний рівень (E)	мінімальний рівень (E)

Альтернативи розглядаємо у порядку зниження їх стійкості до вибухової хвилі: *V3, V2, V1, V4, V5*.

Парні порівняння є такими*:*

(5) помірна перевага *V3* над *V2*;

(6) майже явна перевага *V3* над *V1*;

(7) явна перевага *V3* над *V4*;

(8) майже абсолютна перевага *V3* над *V5*;

(3) слабка перевага *V2* над *V1;*

(5) помірна перевага *V2* над *V4;*

(7) явна перевага *V2* над *V5*;

(3) слабка перевага *V1* над *V4;*

(5) помірна перевага *V1* над *V5;*

(3) слабка перевага *V4* над *V5*.

Наведеним парним порівнянням відповідає така матриця:

$$\mathbf{A}(\mathbf{Y_5}) = \begin{array}{c} \begin{matrix} V_1 & V_2 & V_3 & V_4 & V_5 \end{matrix} \\ \left\| \begin{matrix} 1 & 1/3 & 1/6 & 3 & 5 \\ 3 & 1 & 1/5 & 5 & 7 \\ 6 & 5 & 1 & 7 & 8 \\ 1/3 & 1/5 & 1/7 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/7 & 1/8 & 1/3 & 1 \end{matrix} \right\| \end{array} \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{matrix}$$

Власний вектор цієї матриці парних порівнянь дорівнює:

$$\mathbf{S} = (0.1863 \quad 0.3598 \quad 0.9077 \quad 0.0957 \quad 0.0530) \ .$$

Власне значення матриці парних порівнянь дорівнює $\lambda_{max} = 5.4$. Воно є близьким до кількості альтернатив. Це означає, що парні порівняння узгоджені між собою. Після нормування, отримуємо такі значення:

$Y_5(V_1) = 1.16;$

$Y_5(V_2) = 2.25;$

$Y_5(V_3) = 5.67;$

$Y_5(V_4) = 0.60;$

$Y_5(V_5) = 0.33.$

4.3 Змістовний порівняльний аналіз альтернатив

Для змістовного аналізу виконаємо аналіз альтернатив *V1, V2 , V3, V4*, *V5* за критеріями *y1*, *y2, y*3, *y4, y5* , що представлено у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Змістовне порівняння альтернатив

Критерій	Лінгвістична оцінка альтернатив				
	V1	*V2*	*V3*	*V4*	*V5*
y1 Енергоефективність	Середній рівень	Середній рівень	Мінімальний рівень	Середній рівень	Низький рівень
y2 Архітектурна привабливість та функціональність	Простий рівень	Простий рівень	Середній рівень	Середній рівень	Високий рівень
y3 Ринкова ціна	Найнижча ціна, сегмент Оптимальний	Середня ціна, сегмент Оптимальний	Середня ціна, сегмент Максимум	Середня ціна, сегмент Оптимальний	Висока ціна, сегмент Максимум
y4 Захист від злому	Мінімальний	Середній	Високий	Мінімальний	Мінімальний
y5 Стійкість до вибухової хвилі	Мінімальний рівень (E)	Низький рівень (D)	Середній рівень (C)	Мінімальний рівень (E)	Мінімальний рівень (E)

Альтернатива *V1* найкращий варіант за ціною, вікно немає переваг в архітектурній привабливості, немає протизламних якостей, конструкція склопакету не зміцнена. Вікно немає захисних властивостей у разі дії вибухової хвилі.

Альтернатива *V2* має показники енергоефективності нижче ніж альтернатива *V1*, вікно немає переваг в архітектурній привабливості. Має протизламну фурнітуру, що підвищує рівень захисту, але ступінь безпеки при

руйнуванні внаслідок дії вибухової хвилі низький. Альтернатива *V2* знаходиться у однаковому ціновому сегменті, але за ціною дорожче Конструкція склопакету не зміцнена, але при порівнянні з альтернативою *V1* має незначну перевагу.

Альтернатива *V3* має показники енергоефективності нижче ніж у альтернатив *V1* та *V2*. Ціновий рівень вище ніж альтернатив *V1* та *V2,* але нижче *V4* та *V5*. Має найкращі протизламні якості у порівняння з іншими альтернативами. Ступінь стійкості при руйнуванні внаслідок дії вибухової хвилі підвищений за рахунок використання триплексу та вклеєного в стулку склопакет.

Альтернатива *V4* більших розмірів ніж альтернативи *V1*, *V2, V3*, що помірно піднімає рівень його архітектурної привабливості. Вікно енергоефективне. Вікно має дві протизламні пари, що трохи підвищує захисні властивості, проте конструкція немає протизламної фурнітури, як *V2* та *V3*. У своєму ціновому сегменті є дорожчим. Ступінь стійкості при руйнуванні внаслідок дії вибухової хвилі мінімальний.

Альтернатива *V5* це панорамне вікно, що робить його рівень архітектурної привабливості вище серед всіх альтернатив. Показники рівень енергоефективності низький, за рахунок великої площі скління і відповідно зменшення площі конструкції зовнішньої стіни, що вплинуло на приведений термічний опір конструкції зовнішньої стіни приміщення. Вікно має дві протизламні пари, що підвищує його захисні властивості, проте конструкція немає протизламної фурнітури яка є у *V2* та *V3*. Конструкція склопакету не зміцнена. Вікно найдорожче. Вікно немає захисних властивостей у разі дії вибухової хвилі.

Бальні оцінки альтернатив, які отримані за парними порівняннями і розрахунками матриць зведено в табл. 4.8. Видно, що немає альтернативи, яка домінує над іншими за усіма критеріями. За критерієм Y_1 кращою є альтернатива *V4,* За критерієм Y_2 кращою є альтернатива *V5, з*а критерієм Y_3 кращою є альтернатива *V1,* за критеріями Y_4 та Y_5 кращою є альтернатива *V3.*

Таблиця 4.8 – Критеріальна оцінки альтернатив

Критерій	Бальні оцінки альтернатив				
	V1	*V2*	*V3*	*V4*	*V5*
Y1	3,77	1,37	0,73	3,77	0,36
Y2	0,45	0,62	0,83	2,77	5,33
Y3	4,16	2,83	1,65	1,02	0,34
Y4	0,35	2,05	5,75	0,93	0,92
Y5	1,16	2,25	5,66	0,6	0,33

4.4. Прийняття рішень

Прийняття рішень здійснюється за формулою (3.2), яка містить 5 вагових коефіцієнтів. Чотири вагових коефіцієнти враховують важливість чотирьох традиційних критерієві Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, а п’ятий ваговий коефіцієнт враховує важливість безпекового критерію Y_5. «Стійкості до вибухової хвилі».

4.4.1 Нормування вагових коефіцієнтів

Аналізована будівля відноситься до «комфорт-класу» відповідно до табл. 3.1 на першому етапі маємо вагові коефіцієнти традиційних критеріїв:

$w_1^{\text{п}} = 0.47;\ w_2^{\text{п}} = 0.28;\ w_3^{\text{п}} = 0.18;\ w_4^{\text{п}} = 0.07.$

Нормування вагових коефіцієнтів проводимо з врахуванням важливості критерія стійкості до вибухової хвилі Y_5.

Коефіцієнт важливості w_5 критерія Y_5 визначаємо за формулою 3.6. Вагові коефіцієнти w_{51}, w_{52}, w_{53} для визначення коефіцієнта важливості w_5 залежно від умов розташування об’єкту приймаємо за табл. 3.2.

Розглянемо чотири варіанти розташування аналізованої будівлі «комфорт-класу»:

1. у місті Вінниці (макрорегіон Тил). Поблизу розташована телевежа 300 м (об’єкт критичної інфраструктури);

2. у місті Київ (макрорегіон Опора). На відстані у 400 метрів від будівлі знаходиться електрична підстанція, а на відстані 350 м – завод військово-промислового комплексу;
3. у місті Чернигів (макрорегіон Фронтир). Залізнична станція розташована відстань 560 м.
4. у місті Куп'янськ (регіон Рубіж). Інфраструктурних та військових об'єктів поблизу немає.

Проведемо оцінку важливості врахування безпекової ситуації за розроблено моделлю за формулою (3.9).

Розглянемо перший варіант детально, м. Вінниця це макрорегіон ТИЛ, (рис. 3.1). Визначаємо вагові коефіцієнти w_{51}, w_{52}, w_{53}.

Згідно табл. 3.2 $w_{51}(R_4) = 0.05$. Поблизу будівлі розташована телевежа (300 м), тому коефіцієнт w_{52} = 0.1. Поблизу будівлі є тільки один об'єкт, що відноситься до потенційної цілі, тому коефіцієнтом $w_{53} = 0$. Відповідно до формули (3.9) маємо :

$$w_5 = w_{51} + w_{52} + w_{53} = 0.05 + 0.1 + 0 = 0.15.$$

Тому, на чотири традиційні вагові коефіцієнти сумарно має припадати:

$$1 - w_5 = 1 - 0.15 = 0.85.$$

На основі визначеного значення w_5 вагові коефіцієнти чотирьох традиційних критеріїв $w_1^{\text{п}}, w_2^{\text{п}}, w_3^{\text{п}}, w_4^{\text{п}}$ перенормовуємо за формулою (3.8) на 0.85 отримуємо такі значення:

$w_1 = 0.4$;

$w_2 = 0.24$;

$w_3 = 0.15$;

$w_4 = 0.06$;

$w_5 = 0.15$.

Результати нормуванням вагових коефіцієнтів для інших варіантів розташування будівлі зведені у таблицю 4.9.

Таблиця 4. 9 – Нормуванням вагових коефіцієнтів

Місце розташування	w_{51}	w_{52}	w_{53}	w_5	$1 - w_5$	До нормування	Після нормування
Вінниця (макрорегіон Тил)	0.05	0.1	0	0.15	0.85	$w_1^{\text{п}} = 0.47$ $w_2^{\text{п}} = 0.28$ $w_3^{\text{п}} = 0.18$ $w_4^{\text{п}} = 0.07$	$w_1 = 0.4$ $w_2 = 0.24$ $w_3 = 0.15$ $w_4 = 0.06$ $w_5 = 0.15$
Київ (макрорегіон Опора)	0.11	0.05	0.05	0.21	0.79		$w_1 = 0.37$ $w_2 = 0.22$ $w_3 = 0.14$ $w_4 = 0.06$ $w_5 = 0.21$
Чернигів (макрорегіон Фронтир)	0.31	0.05	-	0.36	0.64		$w_1 = 0.3$ $w_2 = 0.18$ $w_3 = 0.12$ $w_4 = 0.04$ $w_5 = 0.36$
Куп'янськ (регіон Рубіж)	0.4	-	-	0.4	0.6		$w_1 = 0.28$ $w_2 = 0.17$ $w_3 = 0.11$ $w_4 = 0.04$ $w_5 = 0.4$

4.4.2 Результати моделювання

За результатами моделювання обирається альтернатива з найбільшим значенням інтегрального критерію Y за формулою (3.1). Інтегральний критерій визначається за формулою (3.2), як зважена сума пронормованних частинних критеріїв. Розрахунки проведено в Excel. Результати розрахунку інтегрального

критерію альтернатив представлено у таблицях 4.10 – 4.13. Відповідно до формули (3.1) найкращий варіант із альтернатив є варіант з максимальним значенням інтегрального критерію.

Таблиця 4.10 – Визначення інтегрального критерію альтернатив м. Вінниця (макрорегіон Тил)

Кри-терії	Вікно 1	Вікно 2	Вікно 3	Вікно 4	Вікно 5
	V1	*V2*	*V3*	*V4*	*V5*
Y1	3,77	1,37	0,73	3,77	0,36
Y2	0,45	0,62	0,83	2,77	5,33
Y3	4,16	2,83	1,65	1,02	0,34
Y4	0,35	2,05	5,75	0,93	0,92
Y5	1,16	2,25	5,66	0,6	0,33
Y	2,435	1,5818	1,9327	2,4716	1,5789

Максимальне значення інтегрального критерію $Y = 2{,}47$ має альтернатива *V4*, це вікно розмірами 2,20 м х 1,50 м, більше за розмірами ніж альтернативи *V1, V2, V3*, є енергоефективним, але немає протизламної фурнітури.

Таблиця 4.11 – Визначення інтегрального критерію альтернатив м. Київ (макрорегіон Опора)

Кри-терії	Вікно 1	Вікно 2	Вікно 3	Вікно 4	Вікно 5
	V1	*V2*	*V3*	*V4*	*V5*
Y1	3,77	1,37	0,73	3,77	0,36
Y2	0,45	0,62	0,83	2,77	5,33
Y3	4,16	2,83	1,65	1,02	0,34
Y4	0,35	2,05	5,75	0,93	0,92
Y5	1,16	2,25	5,66	0,6	0,33
Y	2,3409	1,635	2,2173	2,3289	1,4779

Максимальне значення інтегрального критерію $Y = 2{,}34$ має альтернатива *V1,* але альтернатива *V4* має значення $Y = 2{,}33$. Тому обидва варіанта можуть бути прийнятними.

Таблиця 4.12 – Визначення інтегрального критерію альтернатив м. Чернігів (макрорегіон Фронтир)

Кри-терії	Вікно 1	Вікно 2	Вікно 3	Вікно 4	Вікно 5
	V1	*V2*	*V3*	*V4*	*V5*
Y1	3,77	1,37	0,73	3,77	0,36
Y2	0,45	0,62	0,83	2,77	5,33
Y3	4,16	2,83	1,65	1,02	0,34
Y4	0,35	2,05	5,75	0,93	0,92
Y5	1,16	2,25	5,66	0,6	0,33
Y	2,1428	1,7542	2,834	2,0052	1,2638

Максимальним значенням інтегрального критерію Y = 2,834 (з великим відривом від решти альтернатив) має альтернатива *V3*. Це вікно стандартного розміру, протизламне, з профілем SL70, вклеєним стулку склопакетом, склопакет зі склом триплекс, та протизламною фурнітурою.

Таблиця 4.13 – Визначення інтегрального критерію альтернатив м. Куп'янськ (регіон Рубіж)

Кри-терії	Вікно 1	Вікно 2	Вікно 3	Вікно 4	Вікно 5
	V1	*V2*	*V3*	*V4*	*V5*
Y1	3,77	1,37	0,73	3,77	0,36
Y2	0,45	0,62	0,83	2,77	5,33
Y3	4,16	2,83	1,65	1,02	0,34
Y4	0,35	2,05	5,75	0,93	0,92
Y5	1,16	2,25	5,66	0,6	0,33
Y	2,0677	1,7823	3,021	1,9159	1,2131

Максимальним значенням інтегрального критерію Y = 3,021 має альтернатива *V3*, з великим відривом від решти альтернатив, незважаючи на відсутність поблизу об'єктів, які можуть бути потенційними цілями. Даний варіант вікна *V3* при змістовному порівнянні альтернатив порівняні (табл. 4.7) має найбільший рівень стійкості до дії вибухової хвилі.

Аналіз результатів моделювання щодо вибору віконної конструкції з альтернатив *V1, V2, V3, V4, V5* з врахуванням безпекової ситуації представлено на рис. 4.6.

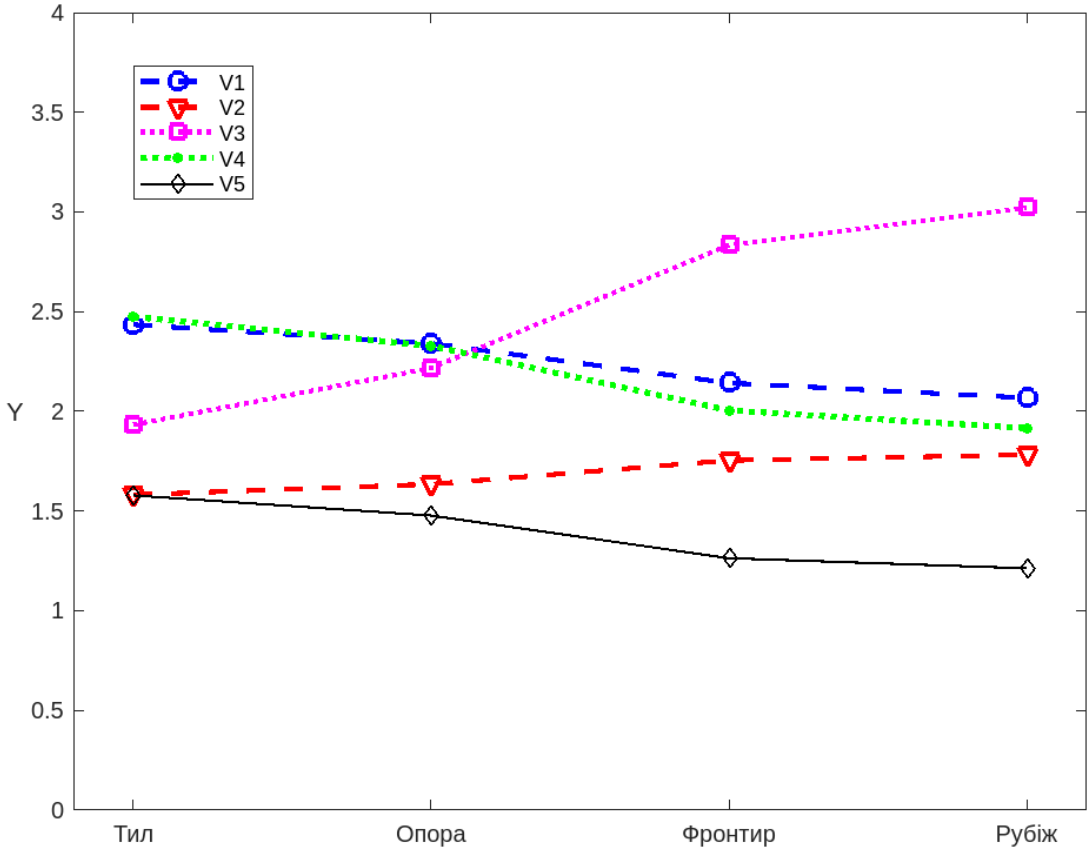


Рисунок 4.6 – Аналіз результатів моделювання щодо вибору віконної конструкції з альтернатив *V1, V2, V3, V4, V5*

На рис. 4.6 розглянуто порівняння рішень при виборі вікон для будівлі комфорт класу залежно від розташування та безпекових умов. На графіку видно, що для регіону Тил і Опора альтернативи *V1, V4,* мають перевагу порівняно з іншими варіантами. На територіях які ближче до зони бойових дій перевага у альтернативи *V3,* яка при змістовному порівняння мала найвищий рівень стійкості до дії вибухової хвилі.

4.5. Чутливість рішення до цільової аудиторії

Для визначення чутливості моделі проаналізуємо чи зміниться рішення для житлових будівель «комфорт-класу», «економ-класу», «еліт-класу».

Розглянемо альтернативи *V1, V2, V3, V4, V5*. Розташування будівлі у місті Вінниця (макрорегіон Тил). Поблизу аналізованої будівлі немає важливих інфраструктурних та військових об'єкті, тобто усі варіанти розташовані в одному регіональному кластері безпеки. Вагові коефіцієнти $w_1^{\text{п}}, w_2^{\text{п}}, w_3^{\text{п}}, w_4^{\text{п}}$ прийнято за табл. 3.1. Нормуванням вагових коефіцієнтів проведено за формулами (3.7), (3.8) та представлено у таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 – Нормування вагових коефіцієнтів

Об'єкт	w_{51}	w_{52}	w_{53}	w_5	$1 - w_5$	До нормування	Після нормування
Економ класу	0,05	-	-	0,05	0,95	$w_1^{\text{п}} = 0.31;$ $w_2^{\text{п}} = 0.14;$ $w_3^{\text{п}} = 0.5;$ $w_4^{\text{п}} = 0.05.$	$w_1 = 0{,}29$ $w_2 = 0{,}13$ $w_3 = 0{,}48$ $w_4 = 0{,}05$ $w_5 = 0{,}05$
Комфорт-класу	0,05	–	-	0,05	0,95	$w_1^{\text{п}} = 0.47;$ $w_2^{\text{п}} = 0.28;$ $w_3^{\text{п}} = 0.18;$ $w_4^{\text{п}} = 0.07.$	$w_1 = 0{,}46$ $w_2 = 0{,}27$ $w_3 = 0{,}17$ $w_4 = 0{,}05$ $w_5 = 0{,}05$
Еліт класу	0,05	–	-	0,05	0,95	$w_1^{\text{п}} = 0.16;$ $w_2^{\text{п}} = 0.55;$ $w_3^{\text{п}} = 0.04;$ $w_4^{\text{п}} = 0.25.$	$w_1 = 0{,}15$ $w_2 = 0{,}52$ $w_3 = 0{,}04$ $w_4 = 0{,}24$ $w_5 = 0{,}05$

Результати розрахунку моделі багатокритеріального вибору віконної конструкції з врахуванням безпекової ситуації за формулою (3.1) для будівель «економ-класу», «комфорт-класу», «еліт-класу» наведено у таблицях 4.15 – 4.17.

Таблиця 4.15 – Результати розрахунку інтегрального критерію альтернатив *V1, V2, V3, V4, V5* для будівлі «економ-класу»

Кри-терії	Вікно 1	Вікно 2	Вікно 3	Вікно 4	Вікно 5
	V1	*V2*	*V3*	*V4*	*V5*
Y1	3,77	1,37	0,73	3,77	0,36
Y2	0,45	0,62	0,83	2,77	5,33
Y3	4,16	2,83	1,65	1,02	0,34
Y4	0,35	2,05	5,75	0,93	0,92
Y5	1,16	2,25	5,66	0,6	0,33
Y	3,2241	2,0513	1,6821	2,0195	1,023

Максимальним значенням інтегрального критерію Y = 3,22 має альтернатива *V1*. Це вікно стандартного розміру, з енергоефективним склопакетом, є найдешевшим варіантом серед альтернатив.

Таблиця 4.16 – Результати розрахунку інтегрального критерію альтернатив для будівлі «комфорт-класу»

Кри-терії	Вікно 1	Вікно 2	Вікно 3	Вікно 4	Вікно 5
	V1	*V2*	*V3*	*V4*	*V5*
Y1	3,77	1,37	0,73	3,77	0,36
Y2	0,45	0,62	0,83	2,77	5,33
Y3	4,16	2,83	1,65	1,02	0,34
Y4	0,35	2,05	5,75	0,93	0,92
Y5	1,16	2,25	5,66	0,6	0,33
Y	2,6384	1,4937	1,4109	2,732	1,725

Максимальним значенням інтегрального критерію Y = 2,73 має альтернатива *V*4. При порівнянні альтернатив (табл. 4.7) альтернатива *V*4 має середній

рівень енергоефективності, середній ціновий сегмент, та середній рівень архітектурної привабливості.

Таблиця 4.17 – Результати розрахунку інтегрального критерію альтернатив для будівлі «еліт-класу»

Кри-терії	Вікно 1	Вікно 2	Вікно 3	Вікно 4	Вікно 5
	V1	*V2*	*V3*	*V4*	*V5*
Y1	3,77	1,37	0,73	3,77	0,36
Y2	0,45	0,62	0,83	2,77	5,33
Y3	4,16	2,83	1,65	1,02	0,34
Y4	0,35	2,05	5,75	0,93	0,92
Y5	1,16	2,25	5,66	0,6	0,33
Y	1,1079	1,2456	2,2701	2,2999	3,0765

Максимальним значенням інтегрального критерію $Y = 3{,}076$ має альтернатива *V*5 – панорамне вікно, яке є найбільш естетично та архітектурно привабливим. Аналіз чутливості рішення до цільової аудиторії при виборі віконної конструкції з альтернатив *V1, V2, V3, V4, V5* представлено на рис. 4.7.

На графіку (рис. 4.7) видно, що альтернатива *V1* має перевагу для будівель «економ- класу», але для будівлі «еліт- класу» вона має найнижче рейтингову позицію. Альтернатива *V5* (панорамне вікно) має перевагу для будівель «еліт-класу», але для «економ- класу» вона має найнижче рейтингову позицію. Для будівлі «комфорт- класу» маємо два найкращих варіанти це альтернатива *V4* та *V1*. Альтернатива *V3* , яка має найкращий рівень захисту , на найнижчому рівні, що підтверджує, що модель враховує безпекову ситуацію. Аналіз результатів моделювання підтверджує, що прийняття рішення за розробленою моделлю забезпечує врахування цільової аудиторії.

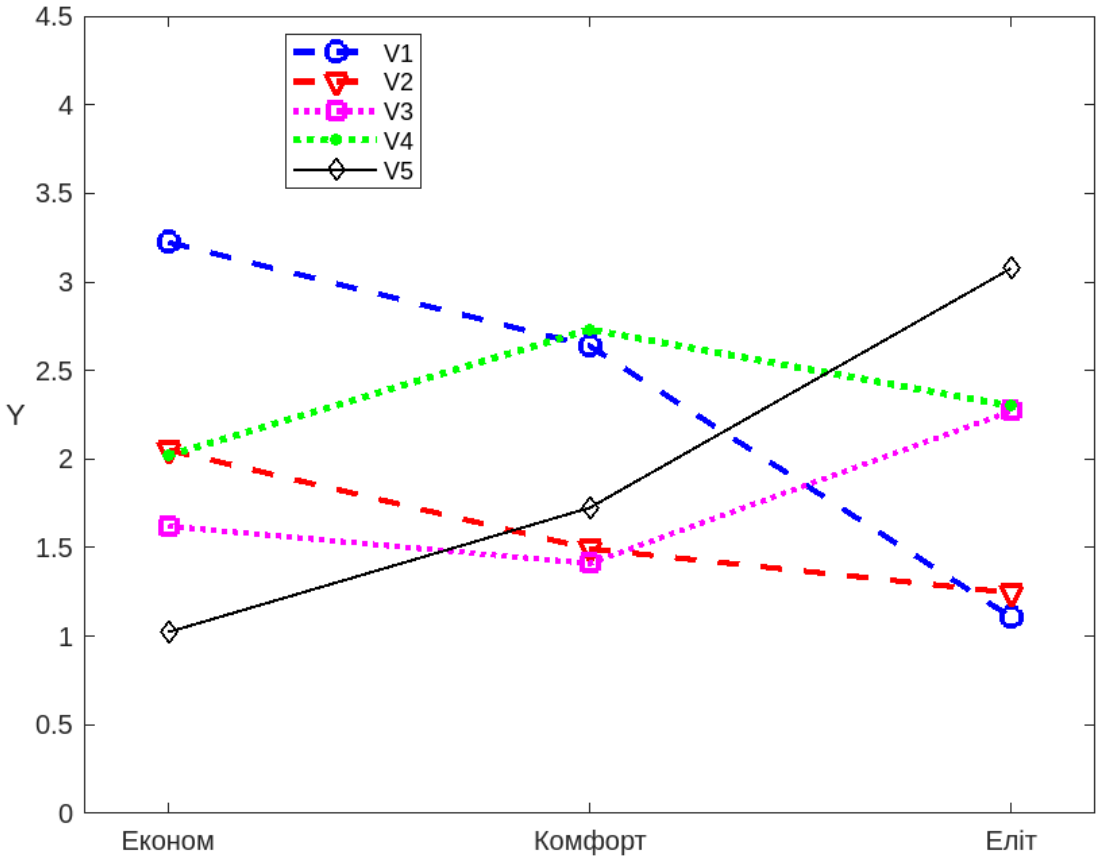


Рисунок 4.7 – Аналіз чутливості рішення до цільової аудиторії

4.6 Висновки до розділу 4

Застосування запропонованих моделей продемонстровано на прикладі вибору віконної конструкції житлового будинку «комфорт-класу». Розглянуто п’ять альтернативних варіантів віконних конструкцій *V1, V2, V3, V4, V5*. Усі альтернативи відповідають будівельним нормам, тобто є допустимими і з точки зору прийняття рішень знаходяться в зоні компромісу, але мають різні геометричні параметри, теплотехнічні, функціональні та безпекові характеристики. Ціна альтернатив від 9700 грн до 27269 грн.

Продемонстровано визначення змістовних оцінок частинних критеріїв для кожної альтернативи. На основі експертного попарного оцінювання переваг альтернатив за шкалою Сааті визначено критеріальні оцінки частинних критеріїв альтернатив.

Продемонстровано застосування запропонованої моделі оцінювання важливості врахування безпекової ситуації під час вибору віконних конструкцій житлових будівель. Розглянуто чотири варіанти розташування будівлі: у м. Вінниці (макрорегіон Тил); м. Київ (макрорегіон Опора), м. Чернигів (макрорегіон Фронтир) та м. Куп'янськ (макрорегіон Рубіж). Аналіз результатів свідчить, що залежно від регіонального кластеру безпеки змінюється вагомість кожного частинного критерію в моделі прийняття рішень, що впливає на результат моделювання.

Проведено аналіз результату вибору вікон для будівлі «комфорт – класу» залежно від її розташування в різних регіональних кластерах безпеки. У макарорегіонах Тил і Опора перевагу мають альтернативи *V1* та *V4* які забезпечують належний рівень енергоефективності, знаходиться в середньому ціновому сегменті, альтернатива *V1* має перевагу у захисті від злому, а альтернатива *V4* має перевагу у архітектурній привабливості, проте *V1* та *V4* мають найнижчий рівень стійкість до вибухової хвилі серед альтернатив. На територіях, які ближче до зони бойових дій, перевага змінюється до альтернативи *V3,* яка має найвищий рівень стійкості до дії вибухової хвилі.

Для оцінки чутливості рішення до зміни цільової аудиторії здійснено моделювання прийняття рішень при фіксованому регіональному кластері безпеки для житлових будівель «комфорт-класу», «економ-класу» та «еліт-класу». Визначено, що рішення є чутливим до зміни цільової аудиторії, наприклад, для макрорегіону Тил за цільової аудиторії економ-класу першу рейтингову позицію займає альтернатива *V1* (вікно має найменшу вартість), яка переміщується на другу рейтингову позицію за цільової аудиторії «комфорт-класу» та на п'яту рейтингову позицію за цільової аудиторії «еліт-класу».

Аналіз результатів підтверджує, що прийняття рішення за розробленою моделлю забезпечує врахування як безпекової ситуації, так і пріоритетів цільової аудиторії.

РОЗДІЛ 5

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВИБОРУ ВІКОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ЗАПРОПОНОВАНИМ МЕТОДОМ

5.1 Методика прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій з врахуванням безпекової ситуації

Структурна схема прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій з врахуванням безпекової ситуації за запропонованим в роботі моделями прийняття рішень показна на рис. 5.1.

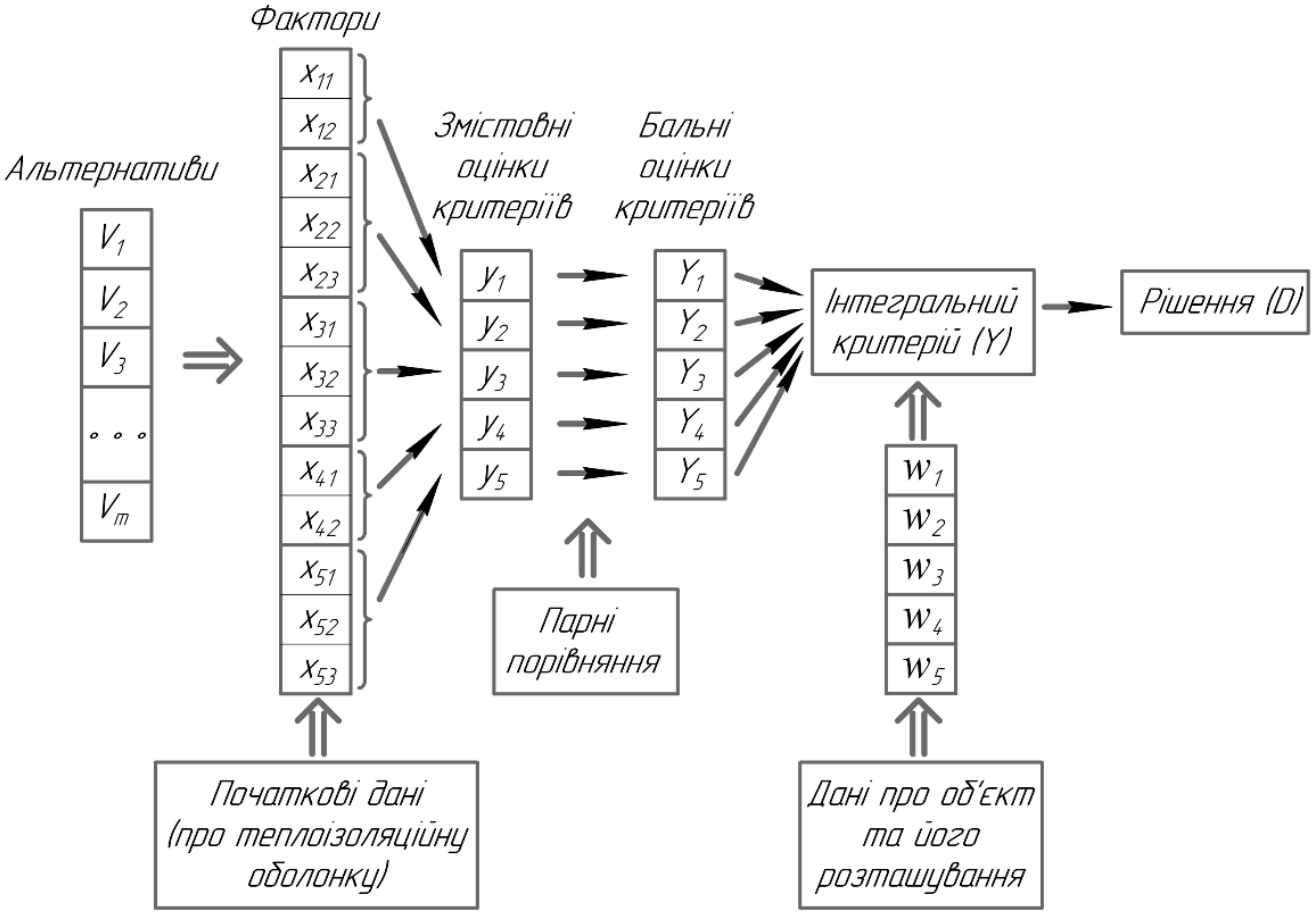


Рисунок 5.1 – Структурна схема прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій з врахуванням безпекової ситуації

Вибір віконних конструкцій за запропонованим методом проводиться на стадії проєктування коли є декілька можливих варіантів віконних конструкцій (альтернатив) для даної будівлі або приміщення. Передбачено, що кожна альтернатива відповідає усім вимогам проєктування світлопрозорих конструкцій за ДБН, при цьому, одна альтернатива не переважає інші за усіма критеріями.

Вибір віконних конструкцій базується на оцінці формалізованих факторів впливу та аналізі критеріїв, що забезпечують баланс між архітектурними, енергоефективними, економічними та безпековими аспектами, визначених у розділі 2, та математично представлено розробленими моделями прийняття рішень наведеними у розділі 3.

Прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій з врахуванням безпекової ситуації проводиться за наступним алгоритмом:

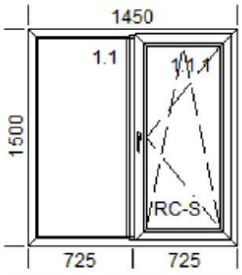
Крок 1. Визначити початкові дані: місто розташування будівлі, архітектурні особливості, вимоги до будівлі і віконних конструкцій, тип комфортності будівлі («економ», «комфорт», «еліт»); термічний опір конструкції зовнішньої стіни, розміри фрагменту зовнішньої стіни для розрахунку приведеного термічного опору зовнішньої стіни, наявність поблизу об’єктів критичної інфраструктури та підприємств воєнно-промислового комплексу.

Крок 2. Визначити альтернативи *V1, V2, ..., Vm* – варіанти вікон з описом їх характеристик: габаритних розмірів, функціональності, опору теплопередачі віконної конструкції, типу профілю та профільної системи, склопакету та його заповнення, фурнітуру, ціни, приклад наведено на рис. 5.2.

Rq - опір теплопередачі конструкції (для житлових, громадських будинків повинен відповідати ДБН: 0,9 для I темп. зони; 0,7 - для II). Rw - індекс звукоізоляції повітряного шуму, застосовується для діапазону частот 100-3150 Гц, розрахований на оцінку шумів побутового походження (розмовна мова, радіо, телевізор). Безшовне зварювання за замовчування у всіх типах LUVIN Premium V7 (усі кольори) та LUVIN Comfort V5 (ламіновані)

№ поз.: 2 Rw= 38,0 Rq= 1: 0.74 шир. х вис., мм: 1450 х 1500 Ціна, грн.: 12323,00

84,449 кг, кількість: 1 шт.



Тип: LUVIN Comfort V5
Колір: Білий (чорний ущ.)

Профіль: Veka SL70

Фурнітура: activPilot RC-start, зламостійка поворотно-відкидна
Колір: Білий WS

Ручка з ключем та кнопкою біла

Спецпідбір: Мікровентиляція (SBA.K.T)

Заповнення: 4i-12Ar-4GE-14Ar-3.1.3 (1.1, 1.1.1)

Додаткові профілі шт мм

Підставочний профіль 30/37 мм з джгутом 1 1 450

Рисунок 5.2 – Характеристика вікна (альтернативи)

Крок 3. За характеристиками альтернатив *V1, V2, ..., Vm* та вихідними даними визначити для кожної альтернативи: X_{11} – опір теплопередачі вікна, X_{12} – приведений термічний опір теплопередачі зовнішньої стіни будівлі (приміщення) за формулою (2.5). За сукупністю факторів X_{11}, X_{12} відповідно до рекомендацій наведених у табл. 2.4 для кожної альтернативи дати оцінку частинного критерію *y1* «Енергоефективність»; приклад у табл. 4.1.

Крок 4. Оцінити рівень переваг по критерію *y1* для кожної пари альтернатив *V1, V2, ..., Vm* та записати матрицю парних порівнянь $\mathbf{A(Y_1)}$ за формулою (3.4); приклад у п.п. 4.2.1.

Крок 5. За матрицею парних порівнянь $\mathbf{A(Y_1)}$ розрахувати бальні оцінки критерію *Y1* «Енергоефективність», як координати власного вектора **S** матриці $\mathbf{A(Y_1)}$ за формулою (3.6). Приклад розрахунку власного вектора матриці парних порівнянь у програмному комплексі Matlab наведено на рисунку 5.3.

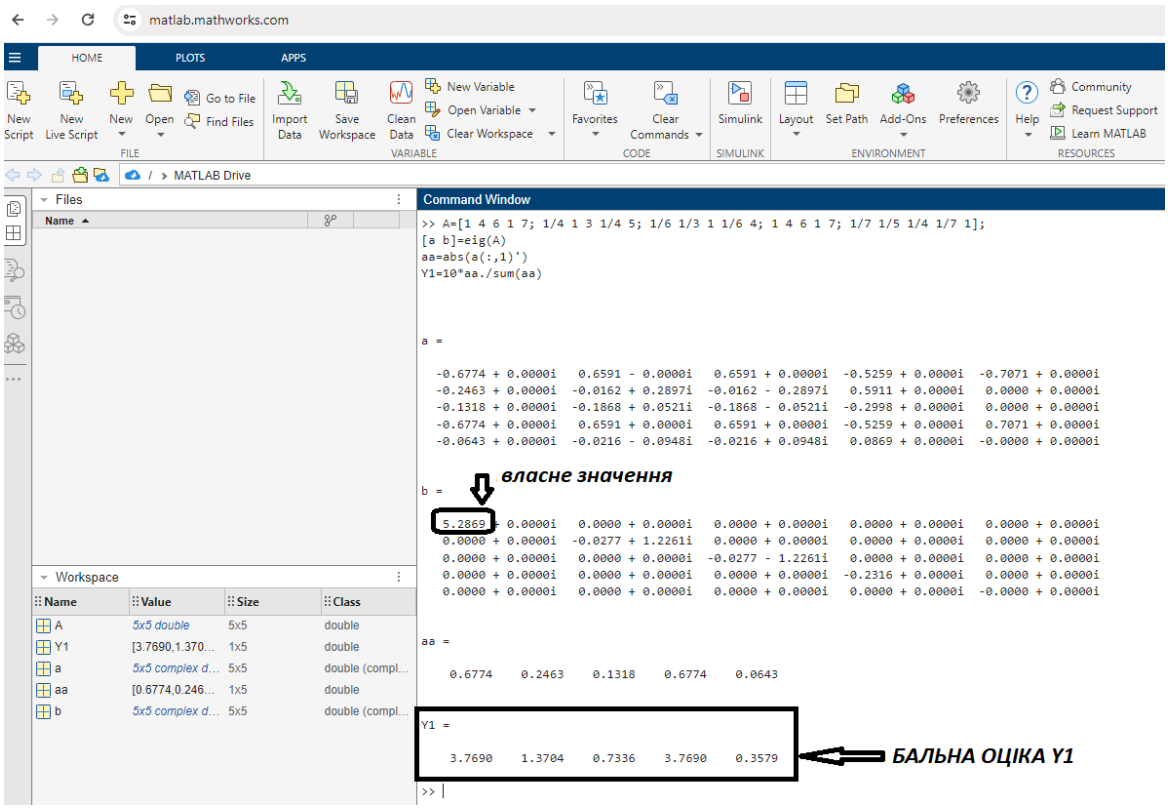


Рисунок 5.3 – Розрахунок матриці парних порівнянь п’яти альтернатив критерію *Y1* «Енергоефективність».

Крок 6. Перевірити узгодженість матриці $\mathbf{A}(\mathbf{Y_1})$, а саме виконання умови: власне значення матриці парних порівнянь λ_{max} має бути близьким до кількості альтернатив. Приклад розрахунку власного значення матриці у Matlab на рисунку 5.3.

Крок 7. За характеристиками альтернатив *V1, V2, ..., Vm* та вихідними даними відповідно до рекомендацій наведених у табл. 2.5 визначити для кожної альтернативи фактори: X_{21} – естетика та дизайн, X_{22} – характеристики профілю, профільної системи, склопакету; X_{23} – додаткові елементи та фурнітура. За сукупністю факторів X_{21}, X_{22}, X_{23}, відповідно до рекомендацій наведених у табл. 2.6 для кожної альтернативи визначити рівень архітектурної привабливості і функціональності конструкції вікна – критерій *y2;* приклад визначення критерію *y2* у табл. 4.3.

Крок 8. Оцінити рівень переваг для кожної пари альтернатив *V1, V2, ..., Vm* за критерієм *y*2 та записати матрицю парних порівнянь $\mathbf{A}(\mathbf{Y_2})$ за формулою (3.4); приклад у п.п. 4.2.2.

Крок 9. За матрицею парних порівнянь $\mathbf{A}(\mathbf{Y_2})$ розрахувати бальні оцінки критерію *Y2* «Архітектурна привабливість», як координати власного вектора **S** матриці $\mathbf{A}(\mathbf{Y_2})$ за формулою (3.6).

Крок 10. Перевірити узгодженість матриці $\mathbf{A}(\mathbf{Y_2})$, а саме виконання умови: власне значення матриці парних порівнянь λ_{max} має бути близьким до кількості альтернатив.

Крок 11. Визначити для кожної альтернативи *V1, V2, ..., Vm* відповідно до рекомендацій наведених у п.п 2.4 ціновий сегмент та рівень критерію *y3* за комерційною ціною. Комерційна ціна враховує: X_{31} – вартість матеріалів віконної конструкції, X_{32} – конфігурацію та складність конструкції, X_{33} – виробник і бренд, регіональні фактори**.** Приклад оцінювання рівню критерію *y3* у табл. 4.4.

Крок 12. Оцінити рівень переваг по критерію *y*3 для кожної пари альтернатив *V1, V2, ..., Vm* та записати матрицю парних порівнянь $\mathbf{A}(\mathbf{Y_3})$ за формулою (3.4), приклад у п.п. 4.2.3.

Крок 13. За матрицею парних порівнянь $\mathbf{A}(\mathbf{Y_3})$ розрахувати бальні оцінки критерію *Y3* «Ринкова ціна», як координати власного вектора **S** матриці $\mathbf{A}(\mathbf{Y_3})$ за формулою (3.6).

Крок 14. Перевірити узгодженість матриці $\mathbf{A}(\mathbf{Y_3})$, а саме виконання умови: власне значення матриці парних порівнянь λ_{max} має бути близьким до кількості альтернатив.

Крок 15. За характеристиками альтернатив *V1, V2, ..., Vm* відповідно до рекомендацій наведених у п.п 2.5 (табл. 2.9) визначити для кожної альтернативи: *X41* – стійкість основних елементів вікна до злому (профілю, склопакету), X_{42} – наявність додаткових зламостійких елементів (фурнітури, протизламні пари). За сукупністю факторів X_{41}, X_{42} відповідно до рекомендацій наведених у табл. 2.10 для кожної

альтернативи визначити рівень «Захист від злому» – частинний критерій *y4* (приклад у табл. 4.5).

Крок 16. Оцінити рівень переваг по критерію *y*4 «Захист від злому» для кожної пари альтернатив *V1, V2, …., Vm* та записати матрицю парних порівнянь $\mathbf{A}(\mathbf{Y_4})$ за формулою (3.4), приклад у п.п. 4.2.4.

Крок 17. За матрицею парних порівнянь $\mathbf{A}(\mathbf{Y_4})$ розрахувати бальні оцінки критерію *Y4* «Захист від злому», як координати власного вектора **S** матриці $\mathbf{A}(\mathbf{Y_4})$ за формулою (3.6).

Крок 18. Перевірити узгодженість матриці $\mathbf{A}(\mathbf{Y_4})$, а саме виконання умови: власне значення матриці парних порівнянь λ_{max} має бути близьким до кількості альтернатив.

Крок 19. За характеристиками альтернатив *V1, V2, …., Vm* відповідно до рекомендацій наведених у п.п 2.6 визначити для кожної альтернативи: X_{51} – вибухостійкість вікна (клас тривкості) згідно до ДСТУ, X_{52} – міцнісні характеристики конструкції вікна; X_{53} – розмір (площа) скляних ділянок (шибок). За сукупністю факторів X_{51}, X_{52}, X_{53} для кожної альтернативи відповідно до табл. 2.16 визначити рівень «Стійкості вікон до вибухової хвилі» – частинний критерій *y5* (приклад у табл. 4.6).

Крок 20. Оцінити рівень переваг за критерієм *y*5 для кожної пари альтернатив *V1, V2, …., Vm* та записати матрицю парних порівнянь $\mathbf{A}(\mathbf{Y_5})$ за формулою (3.4), приклад у п.п. 4.2.5

Крок 21. За матрицею парних порівнянь $\mathbf{A}(\mathbf{Y_5})$ розрахувати бальні оцінки критерію *Y5* «Стійкості до вибухової хвилі», як координати власного вектора **S** матриці $\mathbf{A}(\mathbf{Y_5})$ за формулою (3.6).

Крок 22. Перевірити узгодженість матриці $\mathbf{A}(\mathbf{Y_5})$, а саме виконання умови: власне значення матриці парних порівнянь λ_{max} має бути близьким до кількості альтернатив.

Крок 23. Обрати вагові коефіцієнти чотирьох традиційних критеріїв $w_1^{\text{п}}, w_2^{\text{п}}, w_3^{\text{п}}, w_4^{\text{п}}$ відповідно до класу комфортності будівлі «економ-клас», «комфорт-клас», «еліт-клас» згідно табл. 3.1.

Крок 24. Визначити коефіцієнт важливості w_5 за формулою (3.9). Коефіцієнти w_{51},w_{52};w_{53} визначити відповідно до табл. 3.2.

Крок 25. Перенормувати вагові коефіцієнти критеріїв з врахуванням w_5 за формулою (3.8); приклад у табл. 4.9.

Крок 26. Визначити Інтегральний критерій $Y(V_1), Y(V_2)...Y(V_m)$ для кожної альтернативи за формулою (3.2), як зважену суму пронормованних частинних критеріїв. приклад у п.п. 4.4.2

Крок 27 Як рішення D обрати альтернативу з максимальним значенням інтегрального критерію $Y(V_1), Y(V_2)...Y(V_m)$ за формулою (3.1).

Розрахунки матриць парних порівнянь для моделі підтримки прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій реалізовані у програмі Matlab.

5.2 Технічні рішення, що підвищують захист віконних конструкцій при дії вибухової хвилі

Режими відмови вікна під час дії вибуху залежать від: типу будівлі; розміру вікна, конфігурації та матеріалів віконної конструкції; силі вибуху та відстані до епіцентру вибуху, напрямку дії вибухової хвилі відносно площини встановлення вікна (кута удару). Провівши аналіз найбільш можливих режимів відмови простого вікна (табл. 2.8.) та протоколів щодо безпеки віконних конструкцій при дії вибухової хвилі та у надзвичайних ситуаціях (розділ 2.8), окреслено заходи які підвищують захист віконних конструкцій від дії вибухової хвилі [34 - 36, 38, 57 - 59, 75, 81, 82].

1. Використання спеціальних вибухостійких матеріалів: Вікна можуть бути виготовлені з матеріалів, які мають високу стійкість до вибухів, таких як вибухостійкі скло або полікарбонат.

2. Поділ вікна на невеликі ділянки скління (шибки) дозволяє зменшити площу можливих уламків скла. Це можливо забезпечити при заміні вікна або при проєктуванні вікон.

3. Використання пристроїв для уловлювання вікон.

Жорсткі фіксатори (Catch Systems) складається із сталевих решіток, які перетинають вікна [57]. Жорсткі фіксатори використовують як правило при плівковому або ламінованому склінні вікна. Жорсткі фіксатори перехоплюють плівкове або ламіноване скло та перешкоджають його розльоту. Фіксатори ефективні, лише якщо вони розподілені по масі скляної панелі. Жорсткі системи фіксації зазнають величезних зусиль під час удару та вимагають значного кріплення до дуже конструкції стіни. Конструкція стіни має мати підвищені міцнісні характеристики. Недолік таких систем, зовнішній вигляд віконної системи втрачає привабливість, функціональність вікна значно погіршується. Жорсткі системи фіксації вони мають тенденцію розбивати зміщене скло на менші частки.

Кабельні системи фіксації (Cable Catch Systems) складаються зі сталевого дроту (тросу), що перетинає вікна. Кабельні системи фіксації також називають енергопоглинаючою системою уловлювання. Такі системи використовуються для поглинання значної кількості енергії під час удару, а їхня гнучкість дозволяє легко адаптувати їх до багатьох ситуацій. Кабельні системи визнані ефективним засобом зупинки масивних об’єктів, що рухаються з високою швидкістю [57]. Діаметр кабелю, відстань між жилами та засоби кріплення мають вирішальне значення для розробки ефективної системи фіксації. (рис. 5.4)

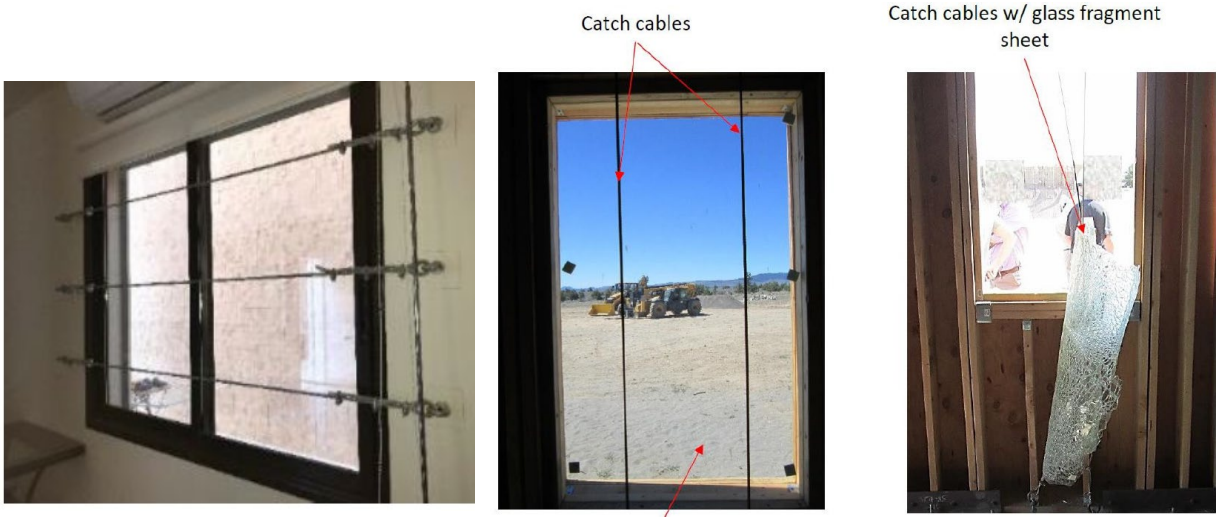


Рисунок 5.4 – Пристрої для уловлюванням вікон Cable Catch Systems

4. Використання противибухових сітчастих завіс [57]. Завіса виготовлена з гнучкого матеріалу, який може утримувати осколки скла, що утворюються під час вибуху. Противибухові завіси кріпляться безпосередньо до внутрішньої рами віконного отвору, що забезпечує стійкість та ефективність захисту. Це дозволяє обмежити рух уламків та зменшити ризик травм. Завіси можуть бути закріплені у верхній і нижній частині віконної рами або закріплені тільки вгорі і оснащені обтяженим краєм. Завіси повинні бути дуже довгими, перевищувати висоту вікна.

5. Використання внутрішніх або зовнішніх ролет, особливо якщо ці ролети виготовлені з міцних матеріалів, таких як метал або алюміній, і мають спеціальні конструкційні особливості. Зовнішні ролети встановлені перед вікнами можуть допомогти розподілити силу вибуху і захистити вікно від прямого удару хвилі або уламків. Завдяки своїй міцності, зовнішні ролети можуть відігравати роль додаткового шару захисту перед вікном. Внутрішні ролети можуть перешкоджати фрагментам скла потрапити в приміщення через розбите вікно.

6. Укріплення склопакетів захисними плівками [81]: ударостійкою (SRF), плівка для утримання фрагментів (AFF), вибухозахисна (BPF) досить ефективний спосіб захисту від уламків, але не забезпечує повний захист. Укріплення склопакетів захисними плівками може підвищити міцнісні характеристики склопакету та утримувати розламані частинки скла разом у разі вибуху, запобігаючи їх розлітанню по приміщенню. При укріпленні склопакету захисними плівками важливо дотримання технології нанесення плівки. Якість укріплення склопакетів захисними плівками залежить від виду плівки та способу її кріплення до вікна.

7. Зміцнення вікон за рахунок підвищення стійкості елементів вікна (скло, рама, кріплення, підкладка). Використання ламінованого скла або полікорбонату значно підвищує рівень безпеки при дії вибухової хвилі.

8. Додаткове закріплення (анкерування) віконних конструкцій у прорізі зовнішньої стіни. Коректний монтаж вікон з врахуванням вимог до вибухостійкості може значно збільшити їхню стійкість до дії вибухів.

Перераховані заходи ґрунтуються на практиках і є популярними для пом’якшення наслідків вибуху. До заходів є популярними і мало витратними які використовують для підвищення безпечності існуючих віконних конструкцій відносяться: використання мішків з піском або із землею зовні по всій висоті вікна, використання фанери, заклеювання вікон клейкою стрічкою. Ефективність цих заходів не досліджена.

Перераховані заходи не є визначеними стандартами, оскільки не існує національних та міжнародних стандартів, що регулюють використання протиударних систем. У [57] зазначено, що модернізація вікон із застосуванням альтернативних засобів захисту, таких як плівки для утримання осколків і противибухові завіси, не є прийнятною альтернативою для нових або існуючих будівель.

5.3 Висновки до розділу 5

У розділі наведено структурну схему, яка відображає процес прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій з врахуванням безпекової ситуації.

Розроблено алгоритм прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій з врахуванням безпекової ситуації. Описано вихідні дані, які необхідні для оцінки факторів, що впливають прийняття рішення щодо вибору віконної конструкцій. Зазначено приклади покрокового виконання алгоритму.

Визначено технічні рішення які направлені на підвищення захисту віконних конструкцій при дії вибухової хвилі.

Результати розділу опубліковано в роботах здобувача [35, 75].

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу обґрунтування прийняття рішень щодо вибору раціонального варіанту віконної конструкції житлових будівель на основі багатокритеріального аналізу з урахуванням енергоефективності, архітектурної привабливості та функціональності, ринкової ціни, захищеності віконної конструкції та безпекової ситуацію на даній території. Відповідно до поставлених завдань та наукової новизни одержаних результатів дисертаційного дослідження сформульовано такі висновки.

1. Проаналізовано особливості проєктування та застосування віконних конструкцій житлових будівель, як елементу огороджувальної теплоізоляційної конструкцій. Визначено сучасні підходи щодо вибору раціональних (оптимальних) параметрів і характеристик світлопрозорих конструкцій, які направлені на: підвищення енергоефективності; оптимізацію конфігурації вікон; забезпечення теплотехнічних показників; забезпечення організаційно – технологічних чинників; оптимізації низького споживання енергії; візуального комфорту. Проаналізовано методи та моделі які враховують фактор безпеки віконної конструкції та направлені на розгляд питання вибухозахищеності вікон і покращення захисної здатності будівлі. Обґрунтовано застосування математичного методу для розробки моделі прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій направленого на пошук компромісного рішення, яке задовольняє критерії на найкращому рівні.

2. За результатами проведеного обчислювального експерименту досліджено вплив розміру віконного прорізу на приведений термічний опір зовнішньої стіни, який є визначальним показником енергоефективності зовнішньої стіни. Визначено, що використання панорамних вікон суттєво

знижує приведений опір теплопередачі зовнішньої стіни. Тому запропоновано для розрахунку приведеного опору теплопередачі зовнішньої стіни обирати не довільний фрагмент зовнішньої стіни будівлі, а фрагмент зовнішньої стіни будівлі з найбільшими світлопрозорими ділянками. Дане рішення забезпечить виконання нормативних вимог щодо облаштування енергоефективної теплоізоляційної оболонки будівлі.

3. На основі проведеного аналізу визначено фактори та формалізовано критерії, які впливають на прийняття рішення щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель при проєктуванні, а саме: енергоефективність; архітектурна привабливість та функціональність; ринкова ціна (вартість); захист від злому та проникнення; стійкість вікон до дії вибухової хвилі. Визначено змістовна оцінка кожного критерію за відповідними факторами впливу. Запропонований критерій – стійкість вікон до дії вибухової хвилі є новим при прийнятті рішень щодо вибору віконної конструкції, і визначає рівень безпеки вікна як частини огороджувальною конструкції.

4. Розроблено інтегральну модель прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель на основі багатокритеріального аналізу факторів впливу, яка враховує п’ять частинних критеріїв. Чотири частинні критерії є традиційними, вони оцінюють: енергоефективність, архітектурну привабливість, вартість та захист від злому. П’ятий критерій є новим, він оцінює стійкість вікон до руйнівної дії вибухової хвилі. Модель являє собою лінійну згортку зважених частинних критеріїв, які визначаються за результатами експертного попарного оцінювання переваг альтернатив. Запропоновано та визначено вагові коефіцієнти чотирьох традиційних критеріїв для багатоповерхових новобудов «економ-класу», «комфорт-класу» та «еліт-класу», що дозволяє застосовувати розроблену модель для більшості будинків без додаткової ідентифікації вагових коефіцієнтів.

5. Розроблено модель оцінки важливості врахування безпекової ситуації при виборі віконних конструкцій житлових будівель, що відповідно визначає вагомість критерія стійкості до вибухової хвилі. Модель враховує три складові: близькість до зони бойових дій та до українсько-російського та україно-білоруського кордонів; наближеність до інфраструктурних та воєнних об'єктів, які є потенційними цілями для ракетно-бомбових атака; кількість потенційних цілей в околі будівлі. На основі розрахунку моделі оцінювання важливості врахування безпекової ситуації можна виділити території з однаковим ризиком руйнувань від вибухової хвилі – регіональні кластери безпеки.

6. Застосування запропонованих моделей продемонстровано на прикладі багатокритеріального вибору віконної конструкції житлового будинку. Продемонстровано застосування запропонованої моделі оцінювання важливості безпекової ситуації під час вибору віконних конструкцій житлових будівель. Результати моделювання розглянутих чотирьох варіантів розташування будівлі з різними регіональними кластерами безпеки, у м. Вінниця; м. Київ, м. Чернігів, м. Куп'янськ показують, що безпекова ситуація суттєво впливає на прийняття рішення щодо вибору віконних конструкцій. Порівняльний аналіз рішень щодо вибору віконних конструкцій для будівлі «комфорт класу» демонструє, що прийняте рішення змінюється залежно від розташування та безпекової ситуації. Для оцінки чутливості рішення до зміни цільової аудиторії здійснено моделювання прийняття рішень при фіксованому регіональному кластері безпеки для житлових будівель «комфорт-класу», «економ-класу» та «еліт-класу». Результати моделювання підтверджують, що розроблена модель забезпечує врахування як безпекової ситуації, так і пріоритетів цільової аудиторії.

7. Запропонована методика прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій з врахуванням безпекової ситуації представлена структурною

схемою процесу прийняття рішень. Розроблено алгоритм прийняття рішень який дозволяє здійснювати вибір віконних конструкцій з врахуванням безпекової ситуації. Визначено технічні рішення, які підвищують стійкість віконних конструкцій до руйнівної дії вибухової хвилі.

Результати дисертаційних досліджень впроваджено: в навчальний процес підготовки бакалаврів та магістрів Вінницького національного технічного університету, які навчаються за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» та у практичну діяльність ТОВ «Подільський проектний інститут», що підтверджується відповідними актами впровадження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010. Настанова щодо проектування і улаштування вікон та дверей. Київ, 2010. Чинний від 01.07.2011. 106 с.

[2] ДСТУ EN 14351-1:2020. Вікна та двері. Вимоги. Частина 1. Вікна та зовнішні двері (EN 14351-1:2006 + A2:2016, IDT). Київ, 2020. Чинний від 01.02.2021. 81 с.

[3] ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ, 2019. Чинний від 01.03.2019. 137 с.

[4] ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будівлі. Основні положення. Зі зміною №1. Київ, 2022. Чинний від 01.09.2022. 43 с.

[5] ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ, 2022. Чинний від 01.09.2022. 27 с.

[6] ДСТУ EN 1627:2014. Вікна, двері та жалюзі. Стійкість до злому. Класифікація та технічні вимоги. Київ, 2014. Чинний від 01.01.2016. 32 с.

[7] Ратушняк Г. С., Панкевич. О. Д., Панкевич В. В. Оцінювання енергоефективності світлопрозорих огороджувальних конструкцій будівель. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2021. Т. 31, №. 2, С. 81-87. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2021-2-81-87 .

[8] Ратушняк Г. С., Панкевич В. В. Оцінювання теплоізоляційних показників огороджувальних конструкцій будівель лінгвістичними змінними. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2021. Т. 29, №. 2, С. 77-86. URI: https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/697.

[9] Види пластикових вікон // Вікна Корса : вебсайт. Дата публікації: 02.04.2023. URI: https://www.korsa.ua/vydy-plastykovyh-vikon (дата звернення: 18.10.2023).

[10] Як правильно вибрати пластикові вікна // Тайм плюс : вебсайт. URI: https://www.timeplus.sumy.ua/okna-kak-vybrat.htm (дата звернення: 10.11.2023).

[11] Класи ПВХ профілів // NIKS-m : вебсайт. Дата оновлення: 31.03.2023. URI: https://niks-m.com/ua/news/klasi-pvx-profiliv/ (дата звернення: 20.10.2023).

[12] Типи віконного скла // «MDL» Building Company. Дата публікації: 19.01.2021. https://www.mdl.co.ua/ua/tipy-okonnogo-stekla/ (дата звернення: 18.10.2023).

[13] ДСТУ EN 356:2005. Скло в будівництві. Захисне скління Випробування та класифікація за тривкістю щодо ручного зламування. Київ, 2005. Чинний від 01.10.2006. 17 с.

[14] Дерев'яні або пластикові вікна – які краще вибрати // t1.ua : вебсайт. URI: https://t1.ua/porady/40521-derevyani-abo-plastykovi-vikna-yaki-krashche-vybraty.html#povitrya (дата звернення: 20.10.2023).

[15] Технічні характеристики склопакетів // Фабрика вікон : вебсайт. URI: https://fabrikavikon.lviv.ua/tehnichni-harakteristiki/th-steklopakety/193-th-sklopakety (дата звернення: 20.10.2023).

[16] Strengths Types & Strength of Glass // Saflex. URI: https://www.saflex.com/saflex-guide/general/strengths-types-strength-glass (дата звернення: 18.10.2023).

[17] Види скла // Fasadinfo. Дата публікації: 25.05.2006. URI: https://fasadinfo.ua/articles/glass/240 (дата звернення: 18.10.2023).

[18] ДСТУ EN 13126-8:2022 (EN 13126-8:2017 IDT). Будівельна фурнітура. Обладнання для вікон та балконних дверей. Вимоги та методи випробувань. Київ, 2022. Чинний від 01.08.2022. 17 с.

[19] Ратушняк Г. С., Панкевич В. В. Енергоефективні конструкції фасадної світлопрозорої теплоізоляції : матеріали Міжнародної наук.-техн. конф. «Інноваційні технології в будівництві-2022» (Вінниця, 25 листопада 2022 р.) 2022. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2022/paper/view/16715

[20] ДСТУ EN 12207:2020. Вікна та двері. Повітропроникність. Класифікація (EN 12207:2016, IDT). Київ, 2020. Чинний від 01.05.2021.

[21] ДСТУ Б EN 12208:2013. Блоки віконні та дверні. Водонепроникність. Класифікація (EN 12208:1999, IDT). Київ, 2013. Чинний від 01.12.2013.

[22] ДСТУ EN 14608:2021. Вікна. Визначення стійкості рами (EN 14608:2004, IDT). Київ, 2021. Чинний від 01.01.2022.

[23] ДСТУ EN 12210:2021. Вікна та двері. Стійкість до вітрового навантаження. Класифікація (EN 12210:2016, IDT). Київ, 2021. Чинний від 01.08.2022.

[24] ДСТУ Б EN 12400:2013. Блоки віконні та дверні. Механічна міцність. Вимоги і класифікація (EN 12400:2002, IDT). Київ, 2013. Чинний від 01.12.2013.

[25] ДСТУ EN 13115:2021. Вікна. Класифікація механічних властивостей. Стійкість до навантажень (EN 13115:2020, IDT). Київ, 2021. Чинний від 01.01.2022.

[26] Стандарт ДСТУ EN 13120:2018. Жалюзі внутрішні. Експлуатаційні вимоги та вимоги щодо безпеки (EN 13120:2009 + A1:2014; AC:2015, IDT). Київ, 2018. Чинний від 01.10.2019.

[27] Ратушняк Г. С., Ратушняк О. Г. Управління енергозберігаючими проектами термореновації будівель : навчальний посібник. Вінниця, 2009. 130 с.

[28] Опір теплопередачі вікон // Лінія вікон : веб-сайт. Дата публікації: 18.05.2021. URI: https://liniavikon.com.ua/ua/statti/pro-vikna/soprotivlenie-teploperedache-okon (дата звернення: 10.11.2023).

[29] Дудар І. Н., Риндюк С. В. Енергоефективні матеріали та конструкції для теплового захисту будівель і споруд. Будівельні конструкції. 2017. № 2. С. 31-35.

[30] ДСТУ EN 12600:2017. Скло в будівництві. Випробування маятником. Метод випробування на удар і класифікація для плаского скла (EN 12600:2002, IDT). Київ, 2017. Чинний від 01.01.2018.

[31] DzhedzhulIa V., Yepifanova I., Kravchyk Y. Use of the Theory of Fuzzy Sets in Determining the Level of Enterprise Security. 12th International

Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT 2022). 2022. Pp. 311– 315. DOI: 10.1109/ACIT54803.2022.9913150.

[32] Система безпеки вікон – безпечне проєктування автоматичних вікон // GEZE. URI: https://www.geze.ua/uk/cikavi-novini/temi/sistema-bezpeki-vikon (дата звернення: 01.10.2023).

[33] Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України за рік від початку повномасштабного вторгнення. Дата публікації: 02.04.2023. URI: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report.pdf (дата звернення: 20.11.2023).

[34] Як захистити вікна від вибухової хвилі // Твоє місто : веб-сайт. Дата публікації: 07.07.2023. URI: https://tvoemisto.tv/news/yakyy_zahyst_vberezhe_vas_ulamkiv_skla_pry_vybuhah_151722.html (дата звернення: 21.11.2023).

[35] Ратушняк Г. С., Панкевич В. В. Визначальні чинники впливу на безпеку віконних конструкцій : матеріали Міжнародної науково-технічна конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2023» (Вінниця, 21-23 листопада 2023 р.). 2023. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2023/paper/view/19061.

[36] Як знизити небезпеку від вікон через вибухи // OKNA.ua. Дата публікації: 27.04.2022. URI: https://okna.ua/ua/library/yak-znyzyty-nebezpeku-vid-vikon-cherez-1 (дата звернення: 18.12.2023).

[37] Бабич Ю. Квартира з панорамними вікнами: чи купуватимуть таке житло після завершення війни // РІЕЛ : вебсайт. Дата публікації: 07.07.2022. URI: https://realestate.24tv.ua/bude-popit-kvartiri-panoramnimi-viknami-pislya-zavershennya-viyni_n2075055 (дата звернення: 22.12.2023).

[38] Лесьо А. Вікна: стійкість до вибуху // OKNA.ua. Дата публікації: 10.10.2023. URI: https://okna.ua/ua/library/vikna-stiykist-do-vybukhu (дата звернення: 20.12.2023).

[39] Критерії вибору металопластикових вікон // Вікна MIX : вебсайт. URI: https://www.viknamix.com.ua/statia-v-blog-1 (дата звернення: 18.01.2024).

[40] Фаренюк Є. Г. Тепловий режим світлопрозорих огороджувальних конструкцій сучасних багатоповерхових будівель : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Захищена 16.10.15. Рівне, 2015. 178 с.

[41] Фаренюк Г. П. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огороджувальних конструкцій : монографія. Київ, 2009. 137 с.

[42] Ратушняк Г. С., Бікс Ю. С., Лялюк А. О. Організаційно-технологічні чинники впливу на енергоефективність огороджувальних конструкцій будівель. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2022. Т. 33, № 2. С. 203-210. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2022-2-203-210.

[43] Лялюк О. Г., Панкевич В. В. Управління ризиками енергозберігаючого проекту : Sixth international scientific – practical conference «Management of the development of technologies» (Kyiv, 29-30 March 2019). 2019. URI: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2022/10/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8-2019.pdf.

[44] Ратушняк Г. С., Панкевич В. В. Ієрархічна класифікація факторів впливу на підвищення енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівель. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Т. 27, № 2. С. 204-209. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-204-209.

[45] Zhao J., Du Y. H. Multi-objective optimization design for windows and shading configuration considering energy consumption and thermal comfort: A case study for office building in different climatic regions of China. Solar energy. 2020. Vol. 206. Pp. 997-1017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.05.090.

[46] Chowdhary A. K., Sikdar D. Design of electrotunable all-weather smart windows. Solar energy materials and solar cells. 2021. Vol. 222. P. 110921. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110921.

[47] Bian Wang, Mangwei Cui, Yanfeng Gao, Fuyi Jiang, Wei Du, Feng Gao, Litao Kang, Chunyi Zhi, Hongjie Luo A Long-Life Battery-Type Electrochromic Window with Remarkable. Energy Storage Ability. SOLAR RRL. 2019. Vol. 4. DOI: https://doi.org/10.1002/solr.201900425.

[48] Carlos E. Ochoa, Myriam B. C. Aries, Evert J. van Loenen, Jan L. M. Hensen Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort. Applied Energy. 2012. Vol. 95. Pp. 238-245. DOI:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.042.

[49] DzhedzhulIa V., Heyets V., Voynarenko M., Yepifanova I. Models and strategies for financing innovative energy saving activities. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 628. 012004. DOI: 10.1088/1755-1315/628/1/012004.

[50] Вікно зі зміним коефіцієнтом теплопередачі : патент на корисну модель / Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич (Україна). № u 2024 00024 ; заявл. 02.01.2024.

[51] Бабій І. М., Кучеренко Л. В., Борисов О. О., Олійник Н. В. Вибір організаційно-технологічних рішень улаштування огороджувальних конструкцій офісної будівлі за допомогою багатокритеріального аналізу. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2023. Т. 33, № 2. С. 119 -127. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2022-2-119-127.

[52] Ziyuan Li , Yapeng Wang Experiment and Simulation of Critical Parameters for Building Windows under Thermal Explosion. Case Studies in Thermal Engineering. 2021. Vol. 26. P. 101014. URI: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X21001775.

[53] Van der Woerd J.D., Wagner M., Pietzsch A. Design methods of blast resistant façades, windows, and doors in Germany: a review. Glass Struct Eng. 2022. Vol. 7. Pp. 693-710. DOI: https://doi.org/10.1007/s40940-022-00213-w.

[54] Yuan Ye., Tan P. J., Yibing Li. Dynamic structural response of laminated glass panels to blast loading. Composite Structures. 2017. Vol. 182. Pp. 579-589. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.09.028.

[55] Ataei H., Anderson J. C. Mitigating the injuries from flying glass due to air blast. Forensic Engineering 2012: Gateway to a Safer Tomorrow. 2013. DOI: https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784412640.015.

[56] Xu Jun Experimental investigation on constitutive behavior of PVB under impact loading. International Journal of Impact Engineering. 2011. Vol. 38, iss. 2-3. Pp. 106-114. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2010.10.001.

[57] Blast protection for windows. UN Department of Safety and Security : PSU Information Bulletin. 2021. URI: https://www.unicef.org/jordan/media/5951/file/LRFP-2021-9166373-Annex_4-Blast_Protection_for_Windows.pdf.

[58] Васильченко О. В., Квітковський Ю. В., Миргород О. В., Стельмах О. А. Будівельні конструкції та їх поведінка в умовах надзвичайних ситуацій : навчальний посібник. Харків, 2015. 488 с.

[59] Explosive Resistance Standards for Polycarbonate Enclosures // totalshield. 2022. URI: https://totalshield.com/blog/explosive-resistance-standards-for-polycarbonate-enclosures/ (дата звернення: 20.01.2024).

[60] ДСТУ EN 13123-2:2006. Вікна, двері та жалюзі. Стійкість до вибуху. Класифікація та технічні вимоги Частина 2. Діапазон випробування. Київ, 2006. Чинний від 01.10.2007. 7 с.

[61] ДСТУ EN 13123-1:2019. Вікна, двері та жалюзі. Тривкість до вибуху. Класифікація та технічні вимоги. Частина 1. Ударна труба (EN 13123-1:2001, IDT). Київ, 2019. Чинний від 01.01.2020.

[62] ДСТУ 4547:2006. Вікна, двері та жалюзі. Кулетривкість. Вимоги та класифікація (EN 1522:1998, MOD). Київ, 2006. Чинний від 01.09.2006.

[63] GSA-TS01-2003. Standard Test Method for Glazing and Window Systems Subject to Dynamic Overpressure Loadings // Architectural Armour : вебсайт. URI: https://www.architecturalarmour.com/tech-spec/blast-specification-testing/gsa-ts01-2003 (дата звернення: 10.10.2023).

[64] Куліш Я. Ударна хвиля: чому вона б'є вибірково і навіщо заклеювати вікна // kp.ua : вебсайт. Дата публікації: 23.01.2024. URI:

https://kp.ua/ua/life/a683426-udarna-khvilja-chomu-vona-bje-vibirkovo-i-navishcho-zaklejuvati-vikna (дата звернення: 25.01.2024).

[65] Сааті Т. Л. Відносний вимір та його узагальнення у прийнятті рішень. Чому парні порівняння є ключовими в математиці для вимірювання невловимих факторів. Cloud Of Science. 2016. Т. 3, № 2. С. 171-262. URI: https://cloudofscience.ru/sites/default/files/pdf/CoS_3_171.

[66] Штовба С. Д., Галущак А. В. Ідентифікація багатофакторних залежностей за допомогою баз знань. Лабораторний практикум : електронний навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2015. – 96 с. https://www.researchgate.net/profile/Serhiy-Shtovba/publication/292966334_Identifikacia_bagatofaktornih_zaleznostej_za_dopomogou_baz_znan_Laboratornij_praktikum/links/56b2628a08ae795dd5c7b765/Identifikacia-bagatofaktornih-zaleznostej-za-dopomogou-baz-znan-Laboratornij-praktikum.pdf

[67] Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» : від 22.06.2017 № 2801-IX // Верховна Рада України : вебсайт. URI: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text. (дата звернення 20.12.2023).

[68] ДБН В.1.2-11:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність. Київ, 2022. 21 с.

[69] Ратушняк Г. С., Панкевич. О. Д., Панкевич В. В. Теплотехнічні особливості світлопрозорих огороджувальних конструкцій будівель. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2021. Т. 30, № 1. С. 148-156. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2021-1-148-156.

[70] Панкевич О. Д., Миколаєнко В. В., Панкевич В. В. Вплив конструктивних рішень вузлових з'єднань (місць примикання конструкцій) на енергоефективність будівлі. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2020. Т. 27, № 2. С. 20-29. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-20-29.

[71] Ратушняк Г. С., Панкевич В. В., Панкевич О. Д. Фактори впливу на енергоефективність світлопрозорих огороджувальних конструкцій :

матеріали Міжнародної наук.-техн. конф. «Енергоефективність в галузях економіки України-2021» (Вінниця, 23-25 листопада 2021р.). 2021. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2021/paper/view/13935.

[72] Енергокалькулятор вікон і дверей // OKNA.ua : вебсайт. URI: https://okna.ua/ua/energoeffektivnost_okna (дата звернення: 18.10.2023).

[73] Етикетка енергоефективності – питання і відповіді // OKNA.ua : вебсайт. Дата публікації: 13.05.2020. URI: https://okna.ua/ua/library/etyketka-enerhoefektyvnosti-pytannya (дата звернення: 18.10.2023).

[74] Meneiliuk A., Kyryliuk S., Cherepashchuk L. Development of cost-effective enclosing structures with high heat transfer resistance 2023: DOI: 10.1051/e3sconf/202125809040

[75] Ратушняк Г. С., Панкевич В. В. Ідентифікація факторів, які визначають безпеку вікон при дії вибухової хвилі. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2023. Т. 35, №. 2. С. 42-48. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-2-42-48

[76] Вибираємо вікно у квартиру // OKNA.ua : вебсайт. Дата публікації: 23.07.2021. URI: https://okna.ua/ua/library/vybyrayemo-vikno-u-kvartyru (дата звернення: 10.02.2023).

[77] Пластикові вікна // Вікна Маркет : вебсайт. URI: https://okna-market.com.ua/ua/g107735-plastikovye-okna-okna (дата звернення: 10.10.2023).

[78] Відповіді на найчастіші запитання продавців з етикеток RC2 // OKNA.ua : вебсайт. Дата публікації: 15.12.2021. URI: https://okna.ua/ua/library/top-5-pytan-yaki-dopomozhut-staty (дата звернення: 15.09.2023).

[79] Лесьо А. В Україні кожні 5 хвилин зламують вікна чи двері // OKNA.ua : вебсайт. Дата публікації: 18.08.2020. URI: https://okna.ua/ua/library/v-ukrayini-kozhni-5-khvylyn-zlamuyut (дата звернення: 05.10.2023).

[80] Протизламна класифікація вікон // OKNA.ua : вебсайт. Дата публікації: 13.01.2021. URI: https://okna.ua/ua/library/klasyfikatsiya-protyzlamnosti-vikon (дата звернення: 05.10.2023).

[81] SRF and Cable Catchers : PSU Information Bulletin. 2022. 18 p. URI: https://www.unhcr.org/ua/wp-content/uploads/sites/38/2022/08/Annex-A-2_PSU-Information-Bulletin-11-SRF-and-Cable-Catchers.pdf

[82] ISO 16933:2007 International Organization for Standardization / Glass in Building – Explosionresistant security glazing - Test and classification for arena air-blast loading, 2007. 12 p. URI: https://cdn.standards.iteh.ai/samples/38166/cf595a979f29409c8c36cdc75e7c1d3d/ISO-16933-2007.pdf

[83] Лялюк О. Г., Ратушняк Г. С., Лялюк А. О., Панкевич В. В. Управління факторами, які впливають на вибір фінансового механізму енергозберігаючого проекту. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2018. Т.24, № 1, С. 87-94. DOI: https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/561

[84] Менейлюк О. І.. Руссий В. В. Аналіз відомих методик пошуку оптимальних рішень відновлення пошкоджених будівель. Технічні науки та технології 2023. № 2 (32). С. 355–362. DOI: https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-2(32)-355-362

[85] Класи квартир: в чому відмінності категорій житла // adim : вебсайт. URI: https://adim.com.ua/articles/classes-of-residential-buildings-main-differences (дата звернення: 05.10. 2023).

[86] Чим відрізняються класи новобудов // dom.ria : вебсайт. Дата публікації 30.07.2015. URI: https://dom.ria.com/uk/articles/chem-otlichayutsya-klassy-novostroek-173216.html (дата звернення: 05.10. 2023).

[87] Ратушняк Г. С., Панкевич В. В. Шляхи вдосконалення вузлів примикання світлопрозорих огороджувальних конструкцій будівель : матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання (Вінниця, 1 червня 2022 р.). 2022 р. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/15117

[88] Ратушняк Г. С., Панкевич В. В. Енергоефективність світлопрозорих елементів теплоізоляційної оболонки будівлі : матеріали L Всеукраїнської науково-технічної конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання (Вінниця, 20-23 березня 2021 р.). 2021. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp2021/paper/view/12422

[89] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич Аналіз факторів впливу на енергефективність теплоізоляційної оболонки будівель, матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Інноваційні технології в будівництві», Вінниця, Листопад, 2020 р. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/viewFile/10798/901

[90] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич Шляхи підвищення енергоефективності індивідуальних житлових будинків, матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання (2020), Вінниця, Травень, 2020 р. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/vntu_2020_netpub.pdf

[91] Аналізуємо та обговорюємо проєкт оновленої державної стратегії регіонального розвитку 2027 // Інститут Громадянського Суспільства : вебсайт. Дата публікації: 27.12.2023. URI: https://www.csi.org.ua/news/analizuyemo-ta-obgovoryuyemo-proyekt-onovlenoyi-derzhavnoyi-strategiyi-regionalnogo-rozvytku-2027-2/?fbclid=IwAR1zvoehfHKM5fW4C3x_LNm7yCipbZlT0Ik9NnXCo_HecNYwjUm3Fzew470 (дата звернення 28.01.24).

[92] ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». Київ, 2016. Чинний від 01.01.2017. 34 с.

[93] ДБН Б.2.2-12:2019. Планування і забудова територій». Київ, 2019. Чинний від 01.10.2019. 185 с.

[94] Металопластикові вікна LUVIN. Калькулятор вікон // LUVIN : вебсайт. URI: https://luvin.ua/uk/kalkuliator-tsin (дата звернення: 02.04.2024).

Д О Д А Т К И

ДОДАТОК А

Приклад розрахунку матриць парних порівнянь в Matlab

```
Визначення співвідношень важливості традиційних критеріїв

Будівля « Комфорт - клас» (до розділу 3)

A=[1 2 3 5; 1/2 1 2 4; 1/3 1/2 1 4; 1/5 1/4 1/4 1];
[a b]=eig(A)
aa=abs(a(:,1)')
Y=10*aa./sum(aa)

a =

   0.8072 + 0.0000i   0.8027 + 0.0000i   0.8027 + 0.0000i   0.7305 + 0.0000i
   0.4849 + 0.0000i   0.2031 + 0.3590i   0.2031 - 0.3590i  -0.6364 + 0.0000i
   0.3158 + 0.0000i  -0.3643 + 0.1748i  -0.3643 - 0.1748i   0.2435 + 0.0000i
   0.1167 + 0.0000i  -0.0268 - 0.1471i  -0.0268 + 0.1471i  -0.0455 + 0.0000i


b =

   4.0980 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i  -0.0223 + 0.6316i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.0223 - 0.6316i   0.0000 + 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.0535 + 0.0000i


aa =

    0.8072 0.4849 0.3158 0.1167


Y =

    4.6806    2.8114    1.8312    0.6768
```

Будівля « Еліт - клас» (до розділу 3)

```
A=[1 1/4 5 1/2; 4 1 8 3; 1/5 1/8 1 1/6; 2 1/3 6 1];
[a b]=eig(A)
aa=abs(a(:,1)')
Y=10*aa./sum(aa)
```

```
A=[1 1/4 5 1/2; 4 1 8 3; 1/5 1/8 1 1/6; 2 1/3 6 1];
[a b]=eig(A)
aa=abs(a(:,1)')
Y=10*aa./sum(aa)
```

```
a =

   0.2493 + 0.0000i   0.2179 - 0.0995i   0.2179 + 0.0995i  -0.3860 + 0.0000i
   0.8822 + 0.0000i  -0.9193 + 0.0000i  -0.9193 + 0.0000i  -0.6884 + 0.0000i
   0.0723 + 0.0000i   0.0182 + 0.0810i   0.0182 - 0.0810i   0.0567 + 0.0000i
   0.3928 + 0.0000i  -0.0263 - 0.2997i  -0.0263 + 0.2997i   0.6115 + 0.0000i


b =

   4.1217 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i  -0.0203 + 0.7057i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.0203 - 0.7057i   0.0000 + 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.0811 + 0.0000i


aa =

    0.2493    0.8822    0.0723    0.3928


Y =

    1.5616    5.5254    0.4526    2.4604
```

Розрахунок матриці парних порівнянь критерія «енергоефективність» (для розділу 4)

```
A=[1 4 6 1 7; 1/4 1 3 1/4 5; 1/6 1/3 1 1/6 4; 1 4 6 1 7; 1/7 1/5 1/4 1/7 1];
[a b]=eig(A)
aa=abs(a(:,1)')
Y=10*aa./sum(aa)
```

```
a =

  -0.6774 + 0.0000i   0.6591 - 0.0000i   0.6591 + 0.0000i  -0.5259 + 0.0000i  -0.7071
+ 0.0000i
  -0.2463 + 0.0000i  -0.0162 + 0.2897i  -0.0162 - 0.2897i   0.5911 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
  -0.1318 + 0.0000i  -0.1868 + 0.0521i  -0.1868 - 0.0521i  -0.2998 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
  -0.6774 + 0.0000i   0.6591 + 0.0000i   0.6591 + 0.0000i  -0.5259 + 0.0000i   0.7071
+ 0.0000i
  -0.0643 + 0.0000i  -0.0216 - 0.0948i  -0.0216 + 0.0948i   0.0869 + 0.0000i  -0.0000
+ 0.0000i


b =

   5.2869 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i  -0.0277 + 1.2261i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.0277 - 1.2261i   0.0000 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.2316 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.0000
+ 0.0000i


aa =

    0.6774    0.2463    0.1318    0.6774    0.0643


Y =

    3.7690    1.3704    0.7336    3.7690    0.3579
```

Розрахунок матриці парних порівнянь критерія «архітектурна привабливість»
(для розділу 4)

```
A=[1 1/2 1/2 1/6 1/7; 2 1 1/2 1/6 1/6; 2 2 1 1/5 1/6; 6 6 5 1 1/4; 7 6 6 4 1];
[a b]=eig(A)
aa=abs(a(:,1)')
Y=10*aa./sum(aa)
```


```
A=[1 1/2 1/2 1/6 1/7; 2 1 1/2 1/6 1/6; 2 2 1 1/5 1/6; 6 6 5 1 1/4; 7 6 6 4 1];
[a b]=eig(A)
aa=abs(a(:,1)')
Y=10*aa./sum(aa)
```


```
a =

  -0.0740 + 0.0000i  -0.0043 + 0.0506i  -0.0043 - 0.0506i   0.1258 + 0.0475i   0.1258
- 0.0475i
  -0.1014 + 0.0000i   0.0563 + 0.0485i   0.0563 - 0.0485i  -0.0458 - 0.1415i  -0.0458
+ 0.1415i
  -0.1362 + 0.0000i   0.0730 - 0.0280i   0.0730 + 0.0280i  -0.0971 + 0.1732i  -0.0971
- 0.1732i
  -0.4531 + 0.0000i   0.0423 - 0.3992i   0.0423 + 0.3992i   0.2535 - 0.1979i   0.2535
+ 0.1979i
  -0.8720 + 0.0000i  -0.9081 + 0.0000i  -0.9081 + 0.0000i  -0.9039 + 0.0000i  -0.9039
+ 0.0000i


b =

   5.3081 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i  -0.0072 + 1.2334i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.0072 - 1.2334i   0.0000 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.1469 + 0.2971i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.1469
- 0.2971i


aa =

    0.0740    0.1014    0.1362    0.4531    0.8720


Y =

    0.4523    0.6198    0.8323    2.7682    5.3275
```

Розрахунок матриці парних порівнянь критерія «ціна »

(для розділу 4)

```
A=[1 2 3 4 8; 1/2 1 2 4 7; 1/3 1/2 1 2 6; 1/4 1/4 1/2 1 5; 1/8 1/7 1/6 1/5 1];
[a b]=eig(A)
aa=abs(a(:,1)')
Y3=10*aa./sum(aa)
a =

  -0.7704 + 0.0000i   0.7861 + 0.0000i   0.7861 + 0.0000i   0.8171 + 0.0000i   0.4422
+ 0.0000i
  -0.5237 + 0.0000i   0.1784 + 0.5057i   0.1784 - 0.5057i  -0.5599 + 0.0000i  -0.7272
+ 0.0000i
  -0.3044 + 0.0000i  -0.1196 + 0.1478i  -0.1196 - 0.1478i   0.0038 + 0.0000i   0.5152
+ 0.0000i
  -0.1887 + 0.0000i  -0.2270 - 0.0241i  -0.2270 + 0.0241i   0.1304 + 0.0000i  -0.0997
+ 0.0000i
  -0.0622 + 0.0000i   0.0142 - 0.0777i   0.0142 + 0.0777i  -0.0429 + 0.0000i  -0.0172
+ 0.0000i


b =

   5.1707 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i  -0.0127 + 0.9370i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.0127 - 0.9370i   0.0000 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.1383 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.0069
+ 0.0000i


aa =

    0.7704    0.5237    0.3044    0.1887    0.0622


Y3 =

    4.1657    2.8318    1.6458    1.0202    0.3365
```

Розрахунок матриці парних порівнянь критерія « Захист від злому »

```
A=[1 1/6 1/9 1/4 1/4; 6 1 1/5 3 3; 9 5 1 6 6; 4 1/3 1/6 1 1; 4 1/3 1/6 1 1];
[a b]=eig(A)
aa=abs(a(:,1)')
Y5=10*aa./sum(aa)


a =

   0.0543 + 0.0000i  -0.0013 - 0.0560i  -0.0013 + 0.0560i   0.0787 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.3287 + 0.0000i   0.0267 + 0.2843i   0.0267 - 0.2843i   0.4015 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.9194 + 0.0000i   0.9482 + 0.0000i   0.9482 + 0.0000i  -0.8929 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.1478 + 0.0000i  -0.0889 + 0.0139i  -0.0889 - 0.0139i  -0.1329 + 0.0000i  -0.7071
+ 0.0000i
   0.1478 + 0.0000i  -0.0889 + 0.0139i  -0.0889 - 0.0139i  -0.1329 + 0.0000i   0.7071
+ 0.0000i


b =

   5.2487 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0032 + 1.1431i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0032 - 1.1431i   0.0000 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.2551 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.0000
+ 0.0000i


aa =

    0.0543    0.3287    0.9194    0.1478    0.1478


Y5 =

    0.3400    2.0571    5.7532    0.9249    0.9249
```

Розрахунок матриці парних порівнянь критерія « стійкість до вибух хвилі »

```
A=[1 1/3 1/6 3 5; 3 1 1/5 5 7; 6 5 1 7 8; 1/3 1/5 1/7 1 3; 1/5 1/7 1/8 1/3 1];
[a b]=eig(A)
aa=abs(a(:,1)')
Y5=10*aa./sum(aa)

a =

   0.1863 + 0.0000i  -0.1074 + 0.0922i  -0.1074 - 0.0922i   0.0318 - 0.2574i   0.0318
+ 0.2574i
   0.3598 + 0.0000i   0.0374 + 0.2908i   0.0374 - 0.2908i  -0.3025 + 0.1976i  -0.3025
- 0.1976i
   0.9077 + 0.0000i   0.9414 + 0.0000i   0.9414 + 0.0000i   0.8677 + 0.0000i   0.8677
+ 0.0000i
   0.0957 + 0.0000i  -0.0656 - 0.0267i  -0.0656 + 0.0267i   0.1409 + 0.1414i   0.1409
- 0.1414i
   0.0530 + 0.0000i  -0.0008 - 0.0533i  -0.0008 + 0.0533i  -0.0913 - 0.0335i  -0.0913
+ 0.0335i


b =

   5.4179 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0196 + 1.4810i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0196 - 1.4810i   0.0000 + 0.0000i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.2285 + 0.1899i   0.0000
+ 0.0000i
   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i   0.0000 + 0.0000i  -0.2285
- 0.1899i


aa =

    0.1863    0.3598    0.9077    0.0957    0.0530


Y5 =

    1.1626    2.2453    5.6646    0.5970    0.3306
```

ДОДАТОК Б

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:
– матеріали дисертаційної роботи, викладені у виданнях, що внесені до переліку фахових для захисту дисертацій з технічних наук:

[1] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Ідентифікація факторів, які визначають безпеку вікон при дії вибухової хвилі», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, вип. 35, вип. 2, с. 42–48, Груд 2023. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-2-42-48 .

Особистий внесок: полягає в аналізі нормативної бази щодо безпеки віконних конструкцій при проектуванні житлових будівель, та визначенні підходів та методик досліджень стійкості вікон до дії вибухової хвилі у країнах Європейського Союзу, Великобританії, Китаю, США та Україні. Змістовному визначенні основних факторів, що впливають на безпеку вікон житлових приміщень з врахуванням дії вибухової хвилі.

[2] Г. С. Ратушняк, О. Д. Панкевич, В. В. Панкевич, «Оцінювання енергоефективності світлопрозорих огороджувальних конструкцій будівель», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, вип. 31, вип. 2, с. 81–87, Чер 2022. DOI:https://doi.org/10.31649/2311-1429-2021-2-81-87.

Особистий внесок полягає у формалізації і детальному обґрунтуванні факторів, що впливають на енергоефективність світлопрозорих елементів зовнішніх конструкцій

[3] Г. С. Ратушняк, О. Д. Панкевич, В. В. Панкевич, «Теплотехнічні особливості світлопрозорих огороджувальних конструкцій будівель», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, вип. 30, вип. 1, с. 148–156, Груд 2021. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2021-1-148-156.

Особистий внесок: полягає в аналізі використання панорамних вікон у житловому сегменті сучасної забудови міста та проведенні моделювання впливу розміру віконної конструкції на значення приведеного термічного опору обраної частини фасаду будівлі.

[4] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Оцінювання теплоізоляційних показників огороджувальних конструкцій будівель лінгвістичними змінними. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, вип. 29, вип. 2, с. 77–86, Лип 2021. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-2-77-86.

Особистий внесок полягає у встановленні зв'язків між факторами, що випливають на прийняття оціночного рішення щодо енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівель, для побудови експертної моделі, де входи об'єкта, що оцінюється, і його вихід розглядаються як лінгвістичні змінні.

[5] О. Д. Панкевич, В. В. Миколаєнко, В. В. Панкевич, «Вплив конструктивних рішень вузлових з'єднань (місць примикання конструкцій) на енергоефективність будівлі», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, вип. 27, вип. 2, с. 20–29, Груд 2020. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-20-29.

Особистий внесок полягає в аналізі місць примикання віконного блока до стінового прорізу та визначенні енергозберігаючих конструктивних рішень вузлових з'єднань, що використовуються для покращення теплозахисних властивостей зовнішніх огороджувальних конструкцій.

[6] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Ієрархічна класифікація факторів впливу на підвищення енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівель», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, вип. 27, вип. 2, с. 204–209, Груд 2020. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-204-209.

Особистий внесок: полягає у розробці ієрархічного взаємозв'язку між параметрами стану та оцінкою технічного стану теплоізоляційної оболонки будівлі, де визначено фактори впливу на теплозахист дверних і віконних

конструкцій, що представлено у вигляді дерева логічного висновку та математично описано системою співвідношень.

[7] О. Г. Лялюк, О. Г. Ратушняк, А. О. Лялюк, і В. В. Панкевич, «Управління факторами, які впливають на вибір фінансового механізму енергозберігаючого проекту», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, вип. 24, вип. 1, Трав 2018. https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/561

Особистий внесок полягає у змістовному визначенні та розроблені класифікації факторів, що впливають на прийняття організаційно-економічних рішень при виборі фінансового механізму енергозберігаючого проєкту.

Документи інтелектуальної власності, що отримані за результатами дисертації:

- **патент на корисну модель:**

[8] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич «Вікно зі зміним коефіцієнтом теплопередачі» *Патент на корисну модель № и 2024 00024 Україна*, заявл. 02.01.2024.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

[9] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Визначальні чинники впливу на безпеку віконних конструкцій», на *Міжнародній наук.-техн. конф. «Енергоефективність в галузях економіки України»*, Вінниця, Україна, 23-25 листопада 2023, URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2023/paper/viewFile/19061.

[10] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Енергоефективні конструкції фасадної світлопрозорої теплоізоляції», на *Міжнародній наук.-техн. конф. «Інноваційні технології в будівництві-2022»*, Вінниця, 25 листопада 2022, URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2022/paper/view/16715.

[11] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Шляхи вдосконалення вузлів примикання світлопрозорих огороджувальних конструкцій будівель, на LI Всеукраїнській наук.-техн. конф. факультету будівництва, теплоенергетики та

газопостачання, Вінниця, 31 травня - 1 червня 2022, URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp2022/paper/view/15117

[12] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, О. Д. Панкевич, «Фактори впливу на енергоефективність світлопрозорих огороджувальних конструкцій», *на Міжнародній наук.-техн. конф. «Енергоефективність в галузях економіки України-2021»*, Вінниця, 23-25 листопада 2021. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2021/paper/view/13935.

[13] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Енергоефективність світлопрозорих елементів теплоізоляційної оболонки будівлі», на *L Всеукраїнській наук.-техн. конф. факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання,* Вінниця, 20-23 березня 2021. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/12422

[14] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Аналіз факторів впливу на енергоефективність теплоізоляційної оболонки будівель», на *Міжнародній наук.-техн. конф. «Інноваційні технології в будівництві»*, Вінниця, 2020. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/viewFile/10798/9014

[15] Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, «Шляхи підвищення енергоефективності індивідуальних житлових будинків» , на *XLIX наук.-техн. конф. підрозділів Вінницького національного технічного університету «НТКП ВНТУ–2020»,* Вінниця, 18-29 травня 2020. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/vntu_2020_netpub.pdf

[16] О. Г. Лялюк, В. В. Панкевич, «Управління ризиками енергозберігаючого проекту» *Sixth international scientific – practical conference «Management of the development of technologies»*, Kyiv, March 2019. URI: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2022/10/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8-2019.pdf

ДОДАТОК В

ПОДІЛЬСЬКИЙ
ПРОЕКТНИЙ ІНСТИТУТ

ТОВ «Подільський проектний інститут»
Вул. Д. Нечая, 65, м. Вінниця, 21012
ЄДРПОУ 32603899

Тел./факс (0432) 52-09-60, 68-79-77
E-mail: office@ppi.vn.ua
http://www.ppi.vn.ua

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор
ТОВ «Подільський проектний інститут»
_____ Василь ЧУБАТЮК
"20" 02 2024 р

АКТ
впровадження результатів дисертаційної роботи
Панкевича Володимира Вячеславовича
у практичну діяльність ТОВ «Подільський проектний інститут»

Цим актом підтверджується, що результати дисертаційної роботи Панкевича В.В. на тему: «Підтримка прийняття рішення при виборі віконних конструкцій житлових будівель з врахуванням безпекової ситуації» впроваджені у діяльність підприємства ТОВ «Подільський проектний інститут».

Розроблена модель прийняття рішення при виборі віконних конструкцій будівель дозволяє враховувати: архітектурну привабливість та функціональність, енергоефективність, захищеність, ціну віконної конструкції, а також безпекову ситуацію у районі будівництва об'єкта. Важливо, що для оцінювання безпекової ситуації враховується: близькість до зони бойових дій та до українсько-російського та україно-білоруського кордонів, наближеність до інфраструктурних та воєнних об'єктів та їх кількість біля об'єкту будівництва. Практичне використання запропонованої моделі забезпечує обґрунтування архітектурно-будівельних рішень та підвищення якості виконання проєктних робіт.

Директор _____ Василь ЧУБАТЮК
Головний архітектор проєкту _____ Ніна КУЛАГІНА

ДОДАТОК В

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Проректор з науково-педагогічної роботи та організації освітнього процесу Вінницького національного технічного університету
"15" 04 2024 р
Олександр ПЕТРОВ

АКТ
про впровадження у навчальний процес результатів дисертаційної роботи Панкевича Володимира Вячеславовича
на тему: «Підтримка прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель з врахуванням безпекової ситуації»

Члени комісії у складі: канд. техн. наук , професора Коца І.В., канд. техн. наук, доцента Слободян Н.М., канд. техн. наук, доцента Анохіної К.В., склали цей акт про підтвердження того, що результати дисертаційних досліджень аспіранта Панкевича В.В. впроваджено у навчальний процес (лекції, практичні заняття) за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія», а саме:

- визначення енергоефективної теплоізоляційної оболонки будівель зовнішньої огороджувальної конструкції з врахуванням параметрів вікон та найбільших розмірів світлопрозорих ділянок (для підготовки бакалаврів - дисципліна «Енергозберігаючі будівлі та споруди»);
- структура моделі прийняття рішень за наявності альтернативних варіантів за методом парних порівнянь Сааті (для підготовки магістрів - дисципліна «Методологія та організація наукових досліджень»);
- прийняття рішення на основі багатокритеріального аналізу з врахуванням впливу безпекової ситуації (для підготовки магістрів - дисципліна «Проектування та оцінка надійності систем теплогазопостачання і вентиляції» ОПП «Теплогазопостачання і вентиляція»).

Результати впровадження у навчальний процес матеріалів дисертаційного дослідження забезпечують підвищення ефективності навчання студентів, а також якості підготовки фахівців з будівництва та цивільної інженерії.

Голова комісії Іван КОЦ
Члени комісії Наталія СЛОБОДЯН
Катерина АНОХІНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, тел.:(0432) 56-08-48, факс(0432)46-57-72
E-mail: vntu@vntu.edu.ua Код за ЄДРПОУ 02070693

07.06.24 № 15-136 на № _____ від _____

Довідка

Про участь у виконанні науково - дослідної роботи

Панкевича Володимира Вячеславовича

Видана Панкевичу Володимиру Вячеславовичу з підтвердженням про те, що він дійсно брав участь в якості виконавця науково - дослідної роботи 93КЗ «Розробка наукових основ створення інноваційних енергозберігаючих процесів і технологій в галузі будівництва та цивільної інженерії» на кафедрі інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету з 2022 по 2024 рр. Науково-дослідна робота стосувалась його дисертаційного дослідження на тему «Підтримка прийняття рішень щодо вибору віконних конструкцій житлових будівель з врахуванням безпекової ситуації».

Проректор з наукової роботи _____ Ірина ЄПІФАНОВА

Начальник науково-дослідної частини _____ Олег АНТОНЮК