УДК 692.82-049.5 DOI 10.31649/2311-1429-2023-2-42-48

**Г. С. Ратушняк**
**В. В. Панкевич**

# ІДЕНТИФІКАЦІЯ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВИЗНАЧАЮТЬ БЕЗПЕКУ ВІКОН ПРИ ДІЇ ВИБУХОВОЇ ХВИЛІ

Вінницький національний технічний університет

*Стаття присвячена визначенню та ідентифікації основних факторів, що визначають безпеку вікон житлових приміщень з врахуванням дії вибухової хвилі. Проведено аналіз нормативної бази, у якій визначаються вимоги до безпеки віконних конструкцій при проектуванні житлових будівель. Визначено, що будівельні норми України регламентують та унормовують два моменти безпеки вікон: захист від проникнення сторонніх осіб та захист від випадіння людей із житлових будівель приміщення. Питання безпеки вікон при дії вибухової хвилі у нормативній базі на даний час не визначено. В статті розглянуто сучасні підходи та методики досліджень стійкості вікон до дії вибухової хвилі які сьогодні представлені працями науковців Німеччини, Великобританії, Китаю, України. Визначено місцезнаходження та найбільш можливі режими відмови простого вікна. Проаналізовано роботу різних типів скла при дії вибухової хвилі, продемонстровано режим руйнування багатошарового загартованого скла. Наведено способи для підвищення безпечності віконних конструкцій під час вибухової хвилі. На основі аналізу визначено чинники, які впливають на безпеку вікон, зокрема при дії вибухових хвиль. Фактори, що впливають на безпеку вікон при дії вибухових хвиль, розділено на чотири групи. Перша група факторів – це площа скляних ділянок вікна. Друга група факторів – стійкість склопакету, що визначається видом та товщиною скла, його міцність, кількість скляних листків в пакеті. Третя група факторів визначається загальною площею вікна та якість його закріплення. Четверта група факторів визначаються місцеположенням будівлі її близькістю важливих інфраструктурних об'єктів та об'єктів стратегічне значення. Визначено необхідність розроблення методики вибору вікон з раціональними параметрами скління та розроблення показника захищеності населення у житлових будівлях від вторинних факторів вибуху.*

***Ключові слова**: житлова будівля, вікно, вибухова хвиля, скло, руйнування, пошкодження, захист, світлопрозора конструкція, оболонка будівлі.*

## Вступ

Вибір величини площі та пропорцій вікон як світлопрозорих обов'язкових елементів зовнішньої оболонки будівлі є частиною фундаментальних рішень на стадії проектування [1-3]. Протягом останніх років у будівництві житлових будівель має місце тенденція до скління значної частину фасаду. Завдяки масштабному використанню скла фасади виглядають різноманітно, ефектно та сучасно.

Війна в Україні змінює вимоги до житла та конструктивних особливостей будівлі. Наприклад, зведення житлових новобудов із бомбосховищами наразі вже врегульовані законодавчими нормативами. За статистикою одним із основних джерел травмування людей від дії вибухової хвилі є вікна [4]. За даними Департаменту з питань безпеки ООН 80% постраждалих загинули або отримали поранення від осколків бомб, начиння бомб, частин будівель, каміння та розбитого скла. Із цих видів негативних впливів осколки скла спричинили 80% травм і смертей [4]. Така велика частка пояснюється тим, що скло легко розбивається, і є популярним у сучасній архітектурі та зазвичай на великій швидкості розлітається на шматки з гострими краями. Тому до основних вимог, що мають бути терміново переосмислені та унормовані, є вимоги до віконних світлопрозорих конструкцій.

На сьогодні, ключовим питанням вибору вікон є знаходження коректного балансу між привабливим зовнішнім виглядом, енергоефективністю вікна, як складової теплоізоляційної оболонки, вартістю та безпекою.

**Метою дослідження** є аналіз та ідентифікація факторів, які визначають безпеку вікон і особливо від дії вибухової хвилі**.**

## Результати дослідження

**Аналіз нормативних вимог до безпеки віконних конструкцій.** Проектування віконних конструкцій у житлових будівлях регламентується державними стандартами ДСТУ [2, 5] та будівельними нормами будівельними нормами ДБН [1, 3, 6]. Стандарт ДСТУ-Н Б В 2.6-146:2010 [2] регламентує правила проектування й улаштування вікон та зовнішніх дверей із різних матеріалів (деревини, полівінілхлориду, алюмінію, сталі, комбінації цих матеріалів тощо). Відповідно до норм [2] вікна повинні забезпечити в приміщеннях умови перебування людей згідно з діючими гігієнічними вимогами та мають відповідати:

- необхідній звукоізоляційній здатності;
- необхідній теплоізоляційної здатності;
- необхідній світлопропускної здатності;
- необхідному повітропроникнення;

© Г. С. Ратушняк, В. В. Панкевич, 2023

- необхідному паропроникнення;
- необхідному водонепроникнення;
- необхідній стійкості до силових навантажень від вітру та вилому.

Стосовно безпеки вікон то унормовано лише два моменти – безпека: в сенсі захисту від проникнення сторонніх осіб [5]; та безпека в сенсі огороджувальної конструкції, як захисного елементу, що уберігає від випадіння людей із житлових будівель приміщення [3].

Згідно євростандарту DIN EN 1627:2011 [7] та ДСТУ EN 1627:2014 [5]: за ступенем стійкості до злому вікна діляться на три основні класи: RC1 , RC2 , RC2N . Вікна класу RC1 можна застосовувати для других і останніх поверхів, час опору до злому такого вікна до 3-х хвилин. Вікно класу RC2 або RC2N ефективно захистить від спроб злому на перших поверхах, час опору до злому таких віконна до 15 та до 20 хвилин відповідно. На практиці для захисту приміщення від проникнення сторонніх осіб застосовують також віконні решітки, віконні замки та запірні засувки ручки, що покликані ускладнити або унеможливити проникнення ззовні.

У нормах [3] окреслено безпечну експлуатацію вікон, яка стосується запобіганню травматизму та можливості випадіння дітей з вікон. Згідно ДБН [3] світлопрозорі огороджувальні конструкції, окрім балконних та вхідних дверей, мають бути укомплектовані спеціальними пристроями блокування, які блокують або обмежують відчинення стулки у поворотному положення до 89 мм, але дозволяють функціонування відкидного чи паралельно висувного положення стулок. Такі спеціальні пристрої блокування повинні відповідати ДСТУ EN 16281 [8], ДСТУ EN 13126-5 [9].

Безпечна експлуатація стосується також автоматичних вікон [3]. Потенційні небезпеки автоматичних вікон виникають через:

- автоматичне відкриття або закриття, що може призвести до стиснення/ розчавлення кінцівки або удару.
- несправність компонента, наприклад падіння/руйнування віконної стулки.

Для автоматичних вікон із системою привода часто необхідні спеціальні захисні елементи. Системи безпеки вікон повинні розпізнавати коли людина чи предмет перебувають на шляху відчинення чи зачинення, і в такому разі зупинити рух. У разі несправності вікна повинно бути системою безпеки вікна забезпечено неконтрольоване відчинення або зачинення. Це досягається за допомогою механічних запобіжників. Автоматичні вікна також регламентуються промисловим стандартом EN 14351-1 [10]. Стандарт EN 60335-2-103 [11] регламентує безпеку використовуваних блоків електричних лінійних приводів вікна.

Загальні питання безпеки вікон, що визначаються проведенням роботи з улаштування вікон та дверей та дотриманням дотримання вимог технології й монтажу віконних конструкцій згідно з проектом, робочими кресленнями наведено у ДБН А .2.2-3 [12] та ДСТУ-Н Б В .2.6-146:2010 [2].

Повномасштабна війна змусила розглядати безпеку віконних конструкцій з іншого ракурсу. Стало очевидно, що дуже важливо вивчити вибухозахищеність скляних конструкцій – вікон для покращення захисної здатності будівлі. Різні типи та моделі вікон мають різний рівень стійкості до вибухових хвиль, тому необхідно враховувати цю властивість під час вибору вікон.

Оскільки питання проектування житлових приміщень будівель з забезпеченням безпеки від вибухів, у тому числі за рахунок раціонального вибору віконної конструкції, не стояло гостро до лютого 2022 року, то у державних будівельних нормах відсутні відповідні методики вибору конструкції вікон. Відповідно для розроблення методики вибору оптимальної віконної конструкції, яка забезпечить підвищення рівня безпеки житлового приміщення, з врахуванням можливої дії вибухової хвилі, необхідно формалізувати цю задачу. Першим етапом такої формалізації є обґрунтування переліку факторів, які визначають рівень безпеки вікон від вибухової хвилі.

Аналізуючи роботу Європейських вчених [13], відзначимо, що немає жодного європейського стандарту, який надає весь обсяг інформації про вибухове навантаження на будівлі або несучі конструктивні компоненти від дії вибухових речовин. Норматив EN 1991-1-7:2010-12 містить спеціальні підходи до розгляду внутрішніх вибухів як впливу на несучі конструкції внаслідок вибухів пилу або вибухів природного газу та вибухів у автомобільних і залізничних тунелях. Для не несучих компонентів, таких як вікна, двері та віконниці, існують вибухові навантаження, визначені в стандартах, наприклад, EN 13124-1 ( 2001 ), EN 13123-1 ( 2001 ), EN 13123-2 ( 2004 ), EN 13124-2 (2004 ), EN 13541 ( 2012 ), ISO 16934 ( 2007 ), ISO 16933 ( 2007). Ці вибухові навантаження визначено для випробувань і класифікації. Однак слід чітко зазначити, що вони не представляють жодних рекомендацій щодо вибухового навантаження для проектування.

**Аналіз досліджень стійкості вікон до дії вибухової хвилі**

Кількість публікацій, у яких досліджується стійкість вікон до вибухової хвилі, особливо які базуються на експериментах незначна, через високий ризик і вартість експериментальних досліджень дії вибухової хвилі на вікна.

Роботи [15, 16, 17] присвячено питанням вибухозахищеності вікон з ламінованим склом. У роботі [16] наведено результати експериментальних досліджень ударостійкості ламінованого PVB скла. Результати свідчать, що для прошарку ламінованого PVB скла, чим вища швидкість удару, тим сильніший ефект поглинання енергії. У роботі [14] проаналізовано процес динамічної реакції скла під навантаженням від вибуху з використанням методів чисельного моделювання. Виявлено, що динамічну реакцію ламінованого скла можна розділити на два етапи: пружну деформацію скляного шару та пластичну деформацію проміжного шару. Шляхом моделювання також виявлено, що горизонтальне центральне відхилення невелике для ламінованого скла, виготовленого з товстого скляного шару та тонкого проміжного шару.

У роботах [14, 15] проаналізовано праці з моделювання динамічної реакції на вибух багатошарового скла PVB та роботи, що присвячені дослідженню розльоту скла після удару. Зазначено, що через випадковість процесу розбризкування вчені не змогли точно передбачити траєкторію та дальність польоту уламків скла.

У роботі [15] розглянуто питання вибухозахищеності скляних вікон для покращення захисної здатності будівлі. Було змодельовано критичний заряд для подвійного ламінованого загартованого скла (рис. 1) під час вибуху для встановлення вибухозахищених характеристик вікна з ламінованого скла.

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

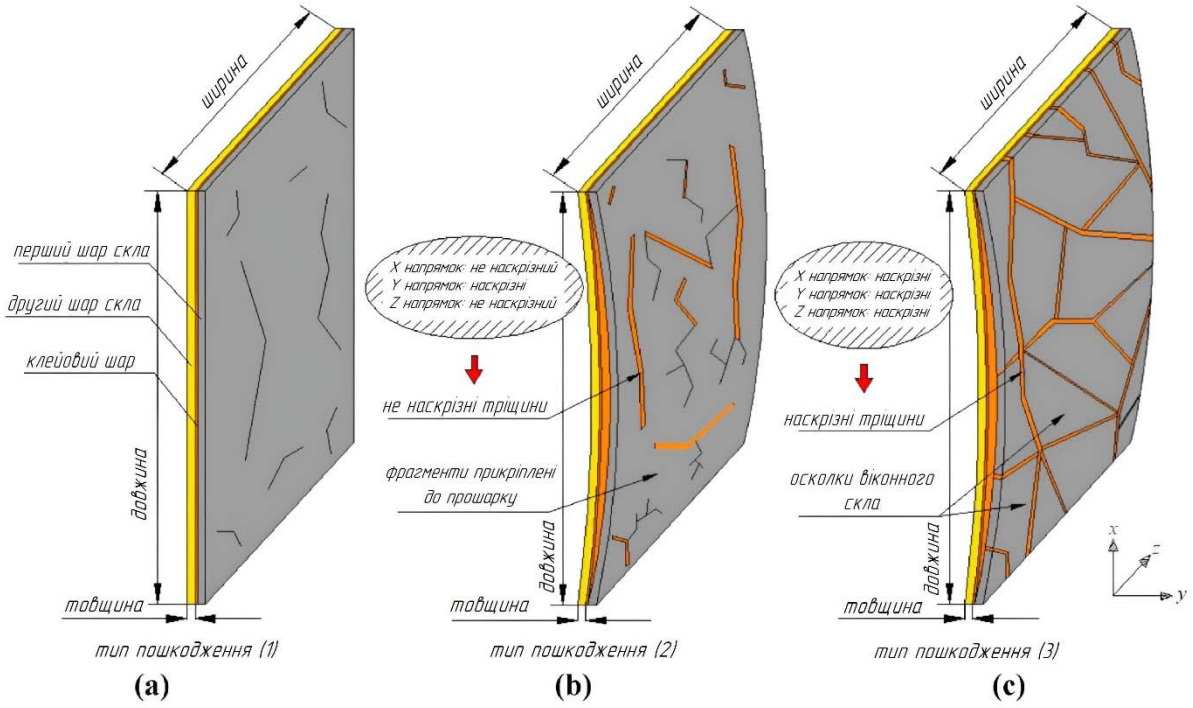


Рисунок 1 – Режим руйнування багатошарового загартованого скла [15]:
a – легкі пошкодження; b – помірне пошкодження; c - небезпечні ушкодження

Режим руйнування багатошарового загартованого скла відповідно до розглянутого процесу класифіковано у табл. 1.

У роботі [15] 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. Емпіричні формули є точними та доступними, і можуть використовуватися при проєктуванні противибухової конструкції багатошарового загартованого скла.

Експериментально [15] визначено безпечну відстань для ламінованого скла під навантаженням від вибуху малим зарядом. При відстані вибуху 4 м в експерименті не було вилітаючих осколків скла. Отже 4 м є критичною безпечною відстанню подвійного багатошарового скла товщиною 8 мм і розміром 1200×900 мм, коли кількість вибухової речовини в тротиловому еквіваленті становить 4 кг.

Таблиця 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 |

Робота [17] направлена на пошук моделі, що дозволить приймати рішення, об'єднати відповідні структурні, архітектурні та будівельні периметри, для забезпечення безпеки мешканців будівель і жителів громади від дії вибухової хвилі.

У роботі [13] наведено огляд сучасних методів перевірки вибухостійких властивостей фасадів, вікон, дверей на практиці з акцентом на умови Німеччини. Проаналізовано чотири групи методів перевірки вибухостійкості та показано їх можливості та межі. Автори акцентують увагу на відсутність у будівельних стандартах на продукцію для фасадів, воріт або дверей інформації про стійкість до вибуху. Найбільш можливі режими відмови простого вікна наведено у табл. 2.

Таблиця 2

**Найбільш можливі режими відмови простого вікна [13]**

| 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 з цегляної кладки/стіни |

Автори [13] відзначають, що стратегія зміцнення вікон від вибухових навантажень полягає у збільшенні розмірів поперечних перерізів їхніх компонентів. Це дозволить збільшити жорсткість компонентів, а матеріал залишається в діапазоні пружних напружень навіть при більш високих вибухових навантаженнях. Більша матеріаломісткість пов'язана з більшими витратами.

Аналіз результатів досліджень свідчить, що тема проектування вікон з врахуванням їх вибухостійкості є актуальною. В матеріалах досліджень визначено слабкі місця вікон при ударних навантаженнях, описано специфічні моменти взаємодії вікна з вибуховою хвилею, визначено методи перевірки вибухостійкості. Достовірні моделі та методики врахування ризиків уражень внаслідок дії вибухової хвилі на вікна приміщення в житлових будівлях на сьогодні відсутні.

**Способи підвищення стійкості вікон при дії вибухової хвилі**

Рекомендовані способи для підвищення безпечності віконних конструкцій під час вибухової хвилі наведено у роботах [4, 18, 19]. Реалізація цих способів передбачає такі заходи:

- зменшити площу можливих уламків, розділивши вікно малі ділянки, щоб зменшить ризик розлітання;
- використовувати стійкі до розриву плівки (Shatter Resistant Film, SRF) разом із системою уловлювання вікон (windows catcher systems);
- закрити вікна мішками з піском або із землею зовні по всій висоті;
- використання фанери для захисту скла;
- використовувати зламостійку фурнітуру, де збільшено кількість зачепів спеціальної форми;
- встановлювати конструкції на дюбелі через раму, відповідно до вимог ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010 [2].

Аналіз робіт з вибухостійкості віконних конструкцій та способів, які сьогодні використовують для підвищення безпечності віконних конструкцій, дозволив виділити фактори, які визначають безпеку віконних конструкцій.

Перша група факторів – це площа скляних ділянок. Очевидно, чим більша площа скляних ділянок фасаду, тим більше ризик травмування. За даними компанії Вікна-Стар, ТМ [4]: якщо після обстрілів будівлі рама залишалася на місці, а склопакети та стулки вилітали, у 80% випадків штапик затримував склопакет, а руйнувалося скло товщиною 4 мм, незалежно від того, однокамерний чи двокамерний склопакет. У 20% випадків руйнувався (вилітав) весь склопакет. Аналізуючи роботи [4,13] можна зробити висновок, що наявність більшої кількості стулок (жорсткість компонентів) у вікні, зменшує площу скління і розмір шибок вікна. Це надає можливість матеріалу вікон залишається в діапазоні пружних напружень при високих вибухових навантаженнях і при руйнуванні скляних ділянок великих осколків буде менше.

Друга група факторів – це стійкість склопакету, що визначається видом та товщиною скла, його міцністю, кількістю скляних листків в пакеті. Для вікна найбільша частина вибухового навантаження припадає на склопакет [13, 20]. При дії вибухової хвилі звичайне скло зазвичай розбивається на великі шматки з довгими гострими краями. 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 PVB, витримує проникнення від удару, і навіть якщо скло тріснe, осколки прилипають до прошарку [20] (Рис. 2).

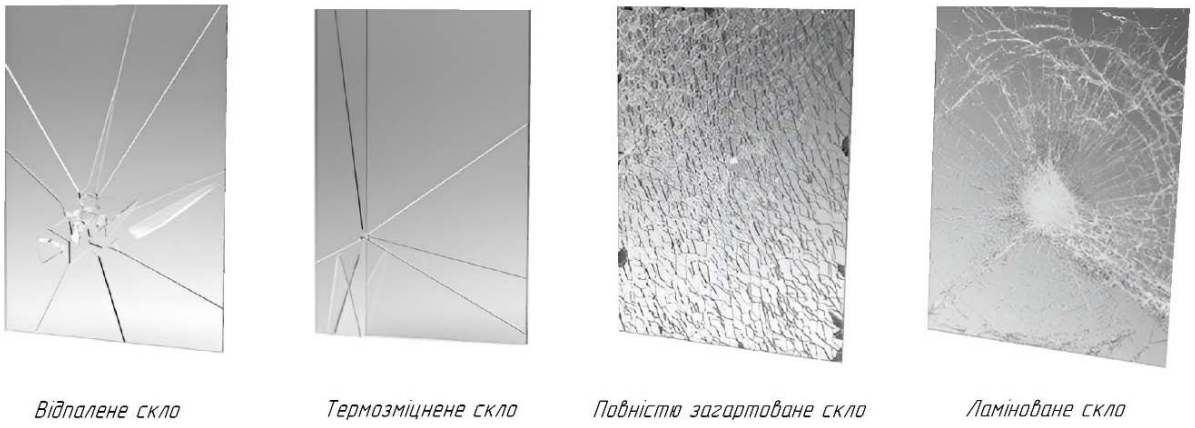


Рисунок 2 – Характеристики пошкодження різних видів скла при дії вибухової хвилі: 1 звичайне скло; 2 термозміцнене скло; 3 загартоване скло; 4 ламіноване скло

Третя група факторів відповідає за ризик винесення віконної конструкції повністю та визначається загальною площею вікна та якість його закріплення. Згідно експертному аналізу пошкоджень вікон після обстрілів (дані компанії Вікна-Стар, ТМ, Україна) [4] наслідки дії вибухової хвилі такі:

- 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.

Кількість кріплення має відповідати ДСТУ «Конструкції будинків і споруд. Настанова щодо проектування й улаштування вікон та дверей» [2]. Відповідно кількість анкерів пропорційна периметру вікна, а сила від вибивання пропорційна площі вікна. Тому, ризик вибивання усього вікна буде нелінійною залежати від площі.

Розміри зон ураження об’єктів при вибуху визначаються значеннями надлишкового тиску та імпульсу повітряної ударної хвилі. Вони визначаються на підставі відомостей про віддаленості об'єкта впливу від епіцентру вибуху, потужності та виду вибуху. З врахуванням наведених факторів можна виділили, четверту групу факторів, які впливають на визначення та важливість безпекового компоненту і визначаються до розміщення будівлі, а саме:

- близькість до фронту (або кордонів з ворогом);
- наявність поблизу об’єктів які мають потенційне стратегічне значення та, є пріоритетними цілями (важливі інфраструктурні об’єкти, військові частини, підприємства ВПК тощо):
- наявність поблизу будівель які екранують вибухову хвилю.

## Висновок

Аналітичний огляд досліджень пошкоджень та руйнування вікон від дії вибухових навантажень свідчить про необхідність розроблення методики вибору вікон з раціональними параметрами скління та розробки показника захищеності населення у житлових будівлях від вторинних факторів вибуху.

Проведена ідентифікація факторів, які визначають безпеку вікон і особливо від дії вибухової хвилі, дозволила рекомендувати способи захисту від вибухових хвиль існуючих конструкцій вікон.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ


1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ, 2022. 27 с.
2. ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010 Настанова щодо проектування і улаштування вікон та дверей. Київ, 2010. 106 с .
3. ДБН В.2.2-15:2019 Житлові будівлі. Основні положення. Зміна №1. Київ, 2022. 43 с
4. Як захистити вікна від вибухової хвилі. [Електронний ресурс] URL: https://tvoemisto.tv/news/yakyy_zahyst_vberezhe_vas_ulamkiv_skla_pry_vybuhah_151722.html (дата звернення: 01.10.2023)
5. ДСТУ EN 1627:2014 «Вікна, двері та жалюзі. Стійкість до злому. Класифікація та технічні вимоги. Київ, 2014. 32 с
6. ДБН В.2.5-28-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. Київ, Мінбуд України, 2006. 78 с.
7. DIN EN 1627:2011 Pedestrian Doorsets, Windows, Curtain Walling, Grilles And Shutters - Burglar Resistance - Requirements And Classification
8. ДСТУ EN 16281:2015 Вироби для захисту дітей. Пристрої блокування вікон та дверей, які унеможливлюють відкривання їх дітьми. Вимоги щодо безпеки та методи випробування (EN 16281:2013, IDT)
9. ДСТУ EN 13126-5 Будівельна фурнітура. Обладнання для вікон та балконних дверей. Вимоги та методи випробувань. Частина 5. Пристрої для обмеження кута відкривання вікон
10. EN 14351-1:2006+A2:2016 Windows and doors - Product standard, performance characteristics - Part 1: Windows and external pedestrian doorsets
11. ДСТУ EN 60335-2-103:2018 Прилади побутові та аналогічні електричні. Безпека. Частина 2-103. Додаткові вимоги до приводів для воріт, дверей та вікон (EN 60335-2-103:2015, IDT; IEC 60335-2-103:2006, MOD + A1:2010, MOD)
12. ДБН А.2.2-3:2014 Склад та зміст проектної документації на будівництво. Зі Змінами № 1 та № 2 Київ Міністерство розвитку громад та територій України 2022
13. Van der Woerd, J.D., Wagner, M., Pietzsch, A. et al. Design methods of blast resistant façades, windows, and doors in Germany: a review. Glass Struct Eng 7, 693–710 (2022). URL:https://doi.org/10.1007/s40940-022-00213-w
14. Yuan, Ye, P. J. Tan, Yibing Li. "Dynamic structural response of laminated glass panels to blast loading."Composite Structures 182 (2017): 579-589. URL:https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263822317310863
15. Ziyuan Li, Yapeng Wang Experiment and Simulation of Critical Parameters for Building Windows under Thermal Explosion. Case Studies in Thermal Engineering Volume: 26, Pages: 101014 Published: Apr 25, 2021 URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X21001775
16. Xu, Jun, et al. "Experimental investigation on constitutive behavior of PVB under impact loading." International Journal of Impact Engineering 38.2-3 (2011): 106-114.
17. Ataei, H., Anderson, J.C. Mitigating the injuries from flying glass due to air blast// Forensic Engineering 2012: Gateway to a Safer Tomorrow Jan 18, 2013
18. Ратушняк Г.С., Панкевич В.В. Визначальні чинники впливу на безпеку віконних конструкцій//Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність в галузях економікиУкраїни -2023» URL: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2023/paper/view/19061
19. Система безпеки вікон - безпечне проєктування автоматичних вікон. [Електронний ресурс] URL: https://www.geze.ua/uk/cikavi-novini/temi/sistema-bezpeki-vikon
20. BLAST PROTECTION FOR WINDOWS. UN Department of Safety and Security, Division of Specialized Operational Support Physical Security Unit, PSU Information Bulletin, Blast Protection for windows (pdf) . [Електронний ресурс] URL: https://www.unicef.org/jordan/media/5951/file/LRFP-2021-9166373-Annex_4-Blast_Protection_for_Windows.pdf


## REFERENSE


1. DBN V.2.6-31:2021. Teplova izolyatsiya ta enerhoefektyvnist′ budivel′. Kyyiv, 2022. 27 s.
2. DSTU-N B V.2.6-146:2010 Nastanova shchodo proektuvannya ta vlashtuvannya vikon ta dverey. Kyyiv, 2010. 106 s.
3. DBN V.2.2-15:2019 Zhytlovi budynky. Osnovni polozhennya. Zmina №1. Kyyiv, 2022. 43 s
4. Yak zakhystyty vikna vid vybukhovoyi khvyli. [Elektronnyy resurs] URL: https://tvoemisto.tv/news/yakyy_zahyst_vberezhe_vas_ulamkiv_skla_pry_vybuhah_151722.html (data zvernennya: 01.10.2023)
5. <br>EN 1627:2014 «Vikna, dveri ta zhalyuzi. Stiykist′ do zla. Klasyfikatsiya ta tekhnichni vymohy. Kyyiv, 2014. 32 s
6. DBN V.2.5-28-2006 Inzhenerne obladnannya budynkiv ta sporud. Pryrodne ta shtuchne osvitlennya. Kyyiv, Minbud Ukrayiny, 2006. 78 s.
7. DIN EN 1627:2011 Pedestrian Doorsets, Windows, Curtain Walling, Grilles and Shutters - Burglar Resistance - Requirements And Classification
8. <br>EN 16281:2015 Vyroby dlya zakhystu ditey. Prystroyi blokuvannya vikon ta dverey, yaki unemozhlyvlyuyut′ vidkryttya yikh dit′my. Vymohy shchodo bezpeky ta metody vyprobuvannya (EN 16281:2013, IDT)
9. <br>EN 13126-5 Budivel′na furnitura. Obladnannya dlya vikon ta balkonnykh dverey. Vymohy ta metody vyprobuvan′. Chastyna 5. Prystroyi dlya obmezhennya kuta vidkryttya okon
10. EN 14351-1:2006+A2:2016 Windows ta dveře - Product standard, performance characteristics - Part 1: Windows and external pedestrian doorsets

11. <br>EN 60335-2-103:2018 Prylady pobutovi ta analohichni elektrychni. Bezpeka. Chastyna 2-103. Dodatkovi vymohy do pryvodiv dlya vorit, dverey ta okon (EN 60335-2-103:2015, IDT;
12. DBN A.2.2-3:2014 Sklad ta zmist proektnoyi dokumentatsiyi na budivnytstvo. Zi Zminamy № 1 ta № 2 Kyyiv Ministerstvo rozvytku hromad ta terytoriy Ukrayiny 2022
13. Van der Woerd, JD, Wagner, M., Pietzsch, A. ta in. Design metody blast resistant façades, windows, and doors in Germany: a review. Glass Struct Eng 7, 693-710 (2022). URL:https://doi.org/10.1007/s40940-022-00213-w
14. Yuan, Ye, PJ Tan, Yibing Li. "Dynamic structural response of laminated glass panels to blast loading."Composite Structures 182 (2017): 579-589. URL:https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263822317310863
15. Ziyuan Li, Yapeng Wang Experiment and Simulation Critical Parameters for Building Windows under Thermal Explosion. Case Studies in Thermal Engineering Volume: 26, Pages: 101014 Published: Apr 25, 2021 URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X21001775
16. Xu, Jun, ta in. "Experimental investigation on constitutive behavior of PVB under impact loading." International Journal of Impact Engineering 38.2-3 (2011): 106-114.
17. Ataei, H., Anderson, J.C. Mitigating the injuries flying glass due to air blast// Forensic Engineering 2012: Gateway to a Safer Tomorrow Jan 18, 2013
18. Ratushnyak H.S., Pankevych V.V. Vyznachal′ni faktory vplyvu na bezpeku vikonnykh konstruktsiy//Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiya «Enerhoefektyvnist′ u haluzyakh ekonomikyUkrayiny -2023» URL: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2023/paper/view/19061
19. Systema bezpeky okon - bezpechne proektuvannya avtomatychnykh okon. [Elektronnyy resurs] URL: https://www.geze.ua/uk/cikavi-novini/temi/sistema-bezpeki-vikon
20. BLAST PROTECTION FOR WINDOWS. UN Department of Safety and Security, Division of Specialized Operational Support Physical Security Unit, PSU Information Bulletin, Blast Protection for windows (pdf) . [Elektronnyy resurs] URL: https://www.unicef.org/jordan/media/5951/file/LRFP-2021-9166373-Annex_4-Blast_Protection_for_Windows.pdf

***Ратушняк Георгій Сергійович*** *– к.т.н, професор, завідувач кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет ORCID 0000-0001-9656-5150, e-mail: ratushnyak@vntu.edu.ua*

***Панкевич Володимир В'ячеславович*** *– аспірант факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет ORCID 0000-0002-1929-8172 e-mail: pankvova82@gmail.com*

**G.S. Ratushnyak**
**V.V. Pankevych**

# IDENTIFICATION OF FACTORS THAT DETERMINE THE SAFETY OF WINDOWS UNDER THE INFLUENCE OF A BLAST WAVE

Vinnytsia National Technical University

*The article is devoted to the definition and identification of the main factors that determine the safety of residential windows with regard to the blast wave. The author analyzes the regulatory framework that defines the requirements for the safety of window structures in the design of residential buildings. It has been determined that the building codes of Ukraine regulate and standardize two aspects of window safety: protection against intrusion by unauthorized persons and protection against people falling out of residential buildings. The issue of window safety in the event of a blast wave is not currently defined in the regulatory framework. The article considers modern approaches and methods of researching the resistance of windows to blast waves, which are currently represented by the works of scientists from Germany, Great Britain, China, and Ukraine. The location and most possible failure modes of a simple window are determined. The paper analyzes the performance of different types of glass under blast wave action and demonstrates the failure mode of laminated tempered glass. Ways to improve the safety of window structures during a blast wave are presented. Based on the analysis, the factors that affect the safety of windows, in particular when exposed to blast waves, are identified. The factors affecting the safety of windows under the influence of blast waves are divided into four groups. The first group of factors is the area of glass areas of the window. The second group of factors is the stability of the glass unit, which is determined by the type and thickness of the glass, its strength, and the number of glass sheets in the package. The third group of factors is determined by the total area of the window and the quality of its fixing. The fourth group of factors is determined by the location of the building and its proximity to important infrastructure facilities and objects of strategic importance. The necessity of developing a methodology for selecting windows with rational glazing parameters and developing an indicator of the protection of the population in residential buildings from secondary explosion factors is determined.*

*Keywords: residential building, window, blast wave, glass, destruction, damage, protection, translucent structure, building envelope.*

**Georgiy Ratushnyak,** Professor, Department of ISB, Head of the Department of Engineering Systems in Construction, Vinnytsia National Technical University ORCID 0000-0001-9656-5150 e-mail: ratushnyak@vntu.edu.ua

**Volodymyr Pankevych**, postgraduate Faculty for Civil Engineering, Thermal Power Engineering and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University ORCID 0000-0002-1929-8172 e-mail: pankvova82@gmail.com