

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.71.658-669>

УДК 699.9

Орленко Михайло Олександрович,

аспірант кафедри архітектурних конструкцій

Київського національного університету будівництва і архітектури

orlenko_mo-2022@knuba.edu.ua

<http://orcid.org/0009-0001-9890-4520>

ВИПРОБУВАННЯ СВІТЛОПРОЗОРИХ КОНСТРУКЦІЙ НА СТІЙКІСТЬ ДО УДАРНОЇ ХВИЛІ: АНАЛІЗ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В УКРАЇНІ

Анотація: в статті розглядаються нормативні документи України та інших країн, де описуються вимоги до огорожувальних світлопрозорих конструкцій в частині вибухостійкості та методи перевірки означених характеристик. Аналізуються переваги та недоліки існуючих методів, перспективи удосконалення нормативних документів України.

Ключові слова: віконні системи; вибухостійкість; випробування.

Постановка проблеми. Світлопрозорі конструкції, зокрема вікна та фасади будівель, відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки в умовах вибухових загроз. Ударна хвиля, що виникає внаслідок вибуху, може призвести до значних руйнувань світлопрозорих елементів та становить серйозну загрозу для життя і здоров'я людей. За даними департаменту з питань безпеки ООН (UN Department of Safety and Security, Division of Specialized Operational Support, PSU), уламки скла є причиною близько 80% травм і смертельних випадків під час вибухів. Цей факт підкреслює необхідність розробки та впровадження ефективних стандартів захисту світлопрозорих конструкцій.

Війна в Україні продемонструвала критичну важливість захисту цивільної інфраструктури від вибухових навантажень. Багато будівель зазнали руйнувань внаслідок обстрілів, під час яких вибухи створюють потужні ударні хвилі, що становлять особливу загрозу для світлопрозорих конструкцій. Традиційні віконні системи виявилися нездатними протистояти таким навантаженням, що призвело до масштабних пошкоджень і збільшення кількості травм серед населення. Відтак, питання модернізації стандартів випробувань світлопрозорих конструкцій та їхньої адаптації до сучасних вимог стає надзвичайно актуальним.

Багато широко поширених рішень, таких як використання захисних плівок або ролет, часто не мають підтверджених характеристик стійкості до ударної хвилі або вимагають додаткових досліджень та випробувань. Наразі обмежена кількість подібних технологій проходить стандартизовані випробування, що

створює певний рівень невизначеності щодо їх ефективності в реальних умовах вибухів. Саме тому стандарти випробувань і класифікації світлопрозорих конструкцій повинні враховувати не лише основні параметри, але й специфіку застосування різних захисних рішень, їх надійність та реальну ефективність.

Таким чином, забезпечення стійкості світлопрозорих конструкцій до ударної хвилі є одним з ключових факторів мінімізації наслідків вибухів. Це вимагає комплексного підходу, що поєднує використання передових матеріалів, впровадження ефективних методів випробувань та врахування специфіки сучасних збройних конфліктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Передові країни світу мають розвинену нормативну базу, що описує вимоги до вибухостійких систем скління, серед яких є як національні стандарти країн, міжурядові стандарти та стандарти добровільної сертифікації, прийняті асоціаціями виробників.

Найпоширеніші стандарти для таких випробувань — це європейські стандарти EN [1-5], американські стандарти ASTM [6-8] міжнародні стандарти ISO [11-13].

Метою публікації є познайомити читача з існуючими методиками натурних випробувань та критеріями нормування стійкості конструкцій до впливу ударної хвилі в нормативній базі країн ЕС, США і України, проаналізувати їх коректність та перспективи вдосконалення нормативної бази України в даній частині.

Основна частина.

Міжнародні стандарти випробувань світлопрозорих конструкцій на стійкість до вибуху

Для оцінки стійкості світлопрозорих конструкцій до вибуху існує два основних методи випробувань: в ударній трубі та на відкритому полігоні. Кожен із цих методів має свої переваги та недоліки, що визначають їх застосування в різних стандартах і практиці.

Класифікація методів випробувань

Метод 1: Тестування в аеродинамічній трубі (ударній трубі)

Суть методу: Ударна хвиля генерується в контрольованих умовах лабораторії за допомогою ударної труби. Сформована хвиля взаємодіє з зразком скла, і це дозволяє оцінити його стійкість до вибухового навантаження. Характеристики ударної хвилі (тиск, тривалість, інтенсивність) можна регулювати, що забезпечує контрольованість умов тестування.

Переваги:

- *Контрольоване середовище:* Аеродинамічна труба (ударна труба) дозволяє точно контролювати параметри ударної хвилі, включаючи інтенсивність та тривалість. Це сприяє відтвореності результатів та їх порівнянню.

- *Безпека*: Оскільки тестування проводиться в лабораторних умовах, ризики для безпеки під час проведення випробувань мінімізовані.

- *Економічна ефективність*: У порівнянні з полігонними випробуваннями, тестування в ударній трубі є менш витратним з точки зору організації та виконання.

Недоліки:

- *Обмежена реалістичність*. Ударна труба не може повністю відтворити всі аспекти реального вибуху, такі як багатовекторний вплив та відбиття ударної хвилі від поверхонь. Це обмежує застосовність результатів у деяких практичних ситуаціях.

- *Неможливість масштабування*. Цей метод випробування обмежений розмірами зразків та рами, які використовуються в ударній трубі, тому оцінити стійкість конструкцій великих розмірів, або з різними кріпленнями може бути складно.

Метод 2: Випробування на відкритому полігоні

Суть методу: Відкриті полігонні випробування проводяться в реальних умовах на відкритому майданчику, де світлопрозорі конструкції розташовуються на певній відстані від заряду вибухової речовини. Цей метод дозволяє моделювати реальний вибух та оцінити вплив вибухової хвилі на скло та його конструктивні елементи.

Переваги:

- *Реалістичність*. Полігонне випробування імітує реальний вибух, враховуючи різноманітні фактори, такі як багатовекторний вплив хвилі, відбиття від поверхонь, тип кріплення конструкцій та їх розміри. Це дає можливість отримати більш повну картину поведінки склопакетів під час вибуху.

- *Гнучкість*. Можна проводити випробування різних видів скла та конструкцій у різних умовах, враховуючи різні відстані, кути та інші параметри вибуху.

Недоліки:

- *Вартість*. Організація випробувань на полігоні є складною та затратною. Це пов'язано з необхідністю створення безпечних умов та використанням реальних вибухових речовин.

- *Складність контролю*. Неможливо повністю контролювати всі параметри ударної хвилі та оточуючих умов під час полігонних випробувань, що може призвести до варіативності результатів.

- *Безпека*. Існують підвищені ризики для безпеки персоналу та обладнання під час проведення таких випробувань.

Огляд існуючих міжнародних стандартів (EN, ISO, ASTM, GSA) для випробувань на стійкість до вибуху.

Світлопрозорі конструкції, такі як вікна, двері та фасади, потребують спеціального тестування на стійкість до вибухової хвилі. Існуючі стандарти регулюють методики таких випробувань, які проводяться або в лабораторних умовах за допомогою аеродинамічної труби (ударної труби), або на відкритому полігоні для відтворення реальних вибухових умов.

Європейські стандарти (EN)

[3-4] Ці стандарти описують методики випробувань світлопрозорих конструкцій в умовах аеродинамічної труби (ударної труби) та класифікацію отриманих результатів. [3] встановлює порядок проведення випробувань, зокрема описує вимоги до монтажу зразків, фіксації їх у жорсткій рамі та вимірювання параметрів ударної хвилі. [1] Визначає класифікацію стійкості конструкцій залежно від отриманих результатів. Хоча стандарти не обмежують конкретний розмір зразка, випробування в аеродинамічній трубі мають фізичні обмеження через конфігурацію самої труби. Через це зазвичай використовуються зразки розміром близько 1 м², щоб забезпечити правильне відтворення ударної хвилі та контрольованість умов тестування.

[2, 4] регламентують проведення випробувань на відкритому полігоні для оцінки стійкості вікон, дверей та жалюзі до реальних вибухових навантажень. [4] встановлює порядок випробувань на полігоні, включаючи вимоги до монтажу зразків, відстань до джерела вибуху та інші параметри. [2] описує методи класифікації стійкості конструкцій, враховуючи їхню поведінку під впливом вибуху. Варто зазначити, що окремих стандартів для фасадів поки що не існує, тому для випробувань фасадних систем використовують саме ці стандарти.

[5] стосується випробувань склопакетів на стійкість до вибухового навантаження за допомогою аеродинамічної труби (ударної труби). Він встановлює розмір зразка — 1100 мм × 900 мм, що зумовлено необхідністю створення контрольованих умов для моделювання ударної хвилі. Такі обмеження пов'язані із самим методом випробування, оскільки ударна труба має фіксовані розміри та конфігурацію. Однак, стандарт зосереджується саме на ламінованому склі, описуючи його властивості та критерії класифікації стійкості до вибуху.

Міжнародні стандарти (ISO)

[11] Цей стандарт описує методику випробувань на відкритому полігоні для оцінки стійкості світлопрозорих конструкцій, таких як вікна та склопакети. Він дозволяє використовувати різні вибухові заряди та моделювати реальні сценарії вибухів, враховуючи такі параметри, як відстань до вибуху, кріплення та конфігурація конструкцій. Відсутність жорстких обмежень щодо розміру зразків дає змогу оцінювати стійкість світлопрозорих елементів різних типів та розмірів. Цей стандарт був розроблений на основі [6] з дозволу ASTM International, що

свідчить про прагнення до гармонізації методик тестування вибухостійкості на міжнародному рівні.

[12] орієнтований на лабораторні випробування за допомогою аеродинамічної труби (ударної труби). Він надає можливість оцінити поведінку склопакетів під дією ударної хвилі у контрольованих умовах, передбачаючи тестування зразків різних розмірів та методів кріплення. У ньому також враховуються можливі обмеження конструкції самої ударної труби, що дозволяє моделювати різні ситуації.

Стандарти США (ASTM)

ASTM International (American Society for Testing and Materials) — міжнародна організація, яка створює стандарти для різних галузей, у тому числі й для випробувань світлопрозорих конструкцій на стійкість до вибуху.

[6] Цей стандарт встановлює методику випробувань скління та систем скління на стійкість до вибухового навантаження за допомогою аеродинамічної труби (ударної труби) або відкритого полігону. Він визначає специфікації параметрів ударної хвилі, таких як тиск та тривалість, а також процедуру встановлення зразків. Результати випробувань класифікуються на основі технічних характеристик, включаючи розліт уламків скла та їхній вплив на безпеку людей.

[8] визначає специфікації для скління та систем скління, підданих впливу вибухових навантажень. Він фокусується на технічних вимогах до матеріалів та систем скління, які повинні забезпечити певний рівень захисту під час вибуху.

[7] Цей стандарт встановлює методику розрахунку еквівалентного статичного навантаження з використанням еквівалентного імпульсу для проектування ламінованого (триплексу) вибухостійкого скла, придатного для захисту будівель від впливу вибухової хвилі. Він допомагає інженерам та дизайнерам розрахувати правильне навантаження для проектування вибухостійкого скління, придатного для захисту будівель від потенційного впливу вибухової хвилі.

Американський стандарт GSA [9] розроблений Управлінням загальних служб США (GSA), цей стандарт встановлює процедури випробувань світлопрозорих конструкцій у реальних умовах вибуху на відкритому полігоні. Основна мета [9] полягає в оцінці рівня пошкодження скла під час вибуху та визначенні ступеня загрози для людей у будівлі. На відміну від ASTM, які зосереджені на технічних параметрах, цей стандарт фокусується на практичній оцінці безпеки будівель у реальних умовах.

Допоміжні рекомендації (AAMA)

[14] Цей документ, розроблений Асоціацією виробників архітектурних вікон та дверей (AAMA) США, виступає як рекомендаційний посібник для

проектування та монтажу вибухостійких вертикальних світлопрозорих систем, таких як вікна, фасади та склопакети. [14] орієнтується на забезпечення комплексного підходу, враховуючи не лише характеристики скла, а й рами, кріплення та методи встановлення. Цей документ доповнює інші стандарти, такі як ASTM та ISO, надаючи практичні поради для проектування світлопрозорих конструкцій, здатних ефективно протистояти вибуховому навантаженню.

Українські стандарти випробувань світлопрозорих конструкцій: аналіз та перспективи застосування.

В Україні прийнято низку стандартів з позначенням ДСТУ EN, які є ідентичними європейським стандартам EN. Ці стандарти перекладені українською мовою та мають український вступ, але повністю відповідають змісту європейських аналогів.

[1, 3] Ці стандарти описують методики випробувань світлопрозорих конструкцій, зокрема вікон і дверей, на стійкість до вибухів за допомогою аеродинамічної труби (ударної труби). Незважаючи на їх прийняття в Україні, практична реалізація цих випробувань залишається неможливою, оскільки жодна лабораторія в Україні не оснащена аеродинамічною трубою для проведення таких тестів.

[2, 4] Ці стандарти встановлюють порядок проведення випробувань на відкритому полігоні, що дозволяє оцінювати стійкість світлопрозорих конструкцій до реальних вибухових впливів. Оскільки випробування на відкритому полігоні не вимагають аеродинамічної труби, вони є єдиним практичним методом тестування, доступним в Україні. Згідно з цими стандартами, випробування охоплюють різні конфігурації конструкцій та сценарії впливу вибухової хвилі, що дозволяє створити більш реалістичну оцінку їхньої вибухостійкості.

[5] Цей стандарт регламентує випробування склопакетів на стійкість до вибухів за допомогою аеродинамічної труби. Проте, як і у випадку з іншими стандартами, що передбачають використання ударної труби, його практичне застосування в Україні обмежене відсутністю відповідного обладнання.

Більшість міжнародних, європейських та американських стандартів, включно зі стандартами EN, ASTM, та GSA були розроблені для оцінки стійкості світлопрозорих конструкцій в умовах терористичних загроз. Вони зосереджені на ризиках, пов'язаних з вибухами середньої та низької потужності, характерними для терористичних атак. Наприклад, додаткові вимоги європейських стандартів включають сценарії VBIED (автомобільних вибухових пристроїв) з масою від 100 кг до 1000 кг на відстанях від 15 м до 45 м, а також сценарії PBIED (переносних вибухових пристроїв) з масою від 3 кг до 20 кг на відстанях від 3 м до 10 м.

Однак у випадку з Україною ситуація суттєво відрізняється від таких сценаріїв, оскільки повномасштабна війна супроводжується обстрілами та вибухами значно більшої потужності. Тому в Україні виникає необхідність перегляду та адаптації стандартів, щоб врахувати загрози військового характеру, які є більш потужними та руйнівними, ніж ризики, передбачені в існуючих європейських стандартах. У зв'язку з відсутністю лабораторій з аеродинамічними трубами, в Україні можливе лише випробування світлопрозорих конструкцій на відкритому полігоні відповідно до стандартів [2, 4]. Цей метод дозволяє проводити реалістичні випробування з урахуванням різних параметрів ударної хвилі та різних конфігурацій конструкцій. Він є єдиним доступним на даний момент практичним інструментом для оцінки стійкості до вибухів в Україні.

Рекомендації для вдосконалення існуючих стандартів на основі міжнародного досвіду

Виявлені прогалини у чинних європейських стандартах EN

У чинних європейських стандартах для випробування світлопрозорих конструкцій існують певні обмеження та прогалини, зокрема:

Монтаж елементів: Вимоги до монтажу елементів на випробувальних майданчиках є нечіткими та можуть впливати на результати тестів. У стандартах, таких як [2], немає чіткого визначення, яким чином повинна проводитися фіксація випробувальних зразків у реальних умовах. В результаті це призводить до недостатньо реалістичних результатів, що ускладнює оцінку фактичної стійкості світлопрозорих конструкцій до ударної хвилі.

Умови навантаження: Чинні стандарти базуються на моделях тиску та імпульсу, що характерні для вибухів обмеженої потужності, і не враховують різноманітність можливих сценаріїв вибухів. У європейських стандартах (наприклад, [2]) відсутні рекомендації щодо застосування навантажень, характерних для реальних бойових умов, що може обмежувати ефективність тестів.

Методика вимірювання. Існує потреба у вдосконаленні методик вимірювання, що використовуються під час випробувань на відкритому полігоні. Чинні стандарти мають обмеження у застосуванні більш точних методів реєстрації параметрів вибухової хвилі, а також аналізу результатів випробувань.

Інтерпретація результатів: Недостатньо визначені критерії інтерпретації результатів випробувань, особливо в контексті оцінки ризиків та небезпеки для людей. Це ускладнює порівняння результатів різних тестів та визначення ефективності тих чи інших конструкцій.

Для більш наочного розуміння характеристик чинних стандартів та їх обмежень розглянемо порівняльні таблиці:

Таблиця 1. – Порівняння основних характеристик стандартів випробувань

Стандарт	Об'єкт випробувань	Метод випробування	Розмір зразка
[5]	Скло/склопакет	Ударна труба	1100 мм × 900 мм
[1, 3]	Вікна, двері, жалюзі	Ударна труба	Визначений користувачем
[2, 4]	Вікна, двері, жалюзі	Полігон	Визначений користувачем
[9]	Вікна	Ударна труба	1650 мм × 1200 мм (можуть використовуватися інші розміри)
[6]	Скло, вікна	Ударна труба/полігон	Визначений користувачем
[11]	Скло, вікна	Полігон	1100 мм × 900 мм
[12]	Скло, вікна	Ударна труба	1100 мм × 900 мм

Висновки. Найбільш доцільними напрямками вдосконалення нормативної бази України в частині вибухостійкості автори вважають наступне:

1) Рекомендується гармонізувати стандарт [11] в Україні. Цей документ містить детальні методики випробувань світлопрозорих конструкцій на стійкість до вибухової хвилі та включає різні сценарії навантажень, що дозволить підвищити точність та достовірність оцінки вибухостійкості в умовах сучасних загроз. Гармонізація цього стандарту допоможе створити єдиний підхід до випробувань, який відповідає міжнародним вимогам. Ця гармонізація вирішить кілька важливих питань:

- Розширить рівні навантаження: Дозволить використовувати різні сценарії вибухів, враховуючи військові загрози та реалії сучасної України.
- Визначить кількість зразків: Встановить необхідність випробування трьох зразків одного типу для підвищення достовірності результатів.

2) Пропонується додати національну передмову до гармонізованих стандартів [2, 4] та гармонізованого стандарту [11] в Україні, яка б:

- Визначила типи зразків для випробувань, тобто описала рекомендації щодо типу зразків, які мають підлягати випробуванням на стійкість до ударної хвилі. Це дозволить стандартизувати процес випробувань та забезпечити порівнянність результатів.

- Передбачила можливість перенесення результатів, тобто визначила умови, за яких результати випробувань можуть бути перенесені на світлопрозорі конструкції інших розмірів. Це допоможе адаптувати результати тестування для

різних варіантів конструкцій, що сприятиме ефективнішому їх застосуванню у проєктах різних масштабів.

Додавання національної передмови сприятиме адаптації цих стандартів до українських умов та забезпечить більш уніфікований підхід до оцінки стійкості світлопрозорих конструкцій.

Таблиця 2. – Вимоги до інтерпретації результатів у різних стандартах

Стандарт	Кількість зразків	Критерії оцінки пошкоджень
[5]	3	Не допускається наявність отворів
[1, 3]	1	Відсутність отвору > 10 мм + критерії уламків
[2, 4]	1	Відсутність отвору > 10 мм + критерії уламків
[9]	1	Критерії небезпеки
[6]	Мінімум 3	Критерії небезпеки + визначення фрагментів
[11]	Мінімум 3	Критерії небезпеки + визначення фрагментів
[12]	Мінімум 3	Критерії небезпеки + визначення фрагментів

Список літератури:

1. ДСТУ EN 13123-1:2019. Вікна, двері та жалюзі. Стійкість до вибуху. Класифікація. Частина 1: Метод випробування в ударній трубі. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 12 с.
2. ДСТУ EN 13123-2:2006. Вікна, двері та жалюзі. Стійкість до вибуху. Класифікація. Частина 2: Полігонне випробування. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 2 с.
3. ДСТУ EN 13124-1:2019. Вікна, двері та жалюзі. Стійкість до вибуху. Метод випробування. Частина 1: Ударна труба. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 11 с.
4. ДСТУ EN 13124-2:2006. Вікна, двері та жалюзі. Стійкість до вибуху. Метод випробування. Частина 2: Полігонне випробування. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 11 с.
5. ДСТУ EN 13541:2014. Склопакети. Вибухостійке захисне скління. Випробування та класифікація. Київ: Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, 2014. 10 с.
6. ASTM F1642/F1642M-17. *Standard Test Method for Glazing and Glazing Systems Subject to Airblast Loadings*. ASTM International, 2017. 6 с.

7. ASTM F2248-19. *Standard Practice for Specifying an Equivalent 3-Second Duration Design Loading for Blast Resistant Glazing Fabricated with Laminated Glass*. ASTM International, 2019. 5 с.
8. ASTM F2912-17. *Standard Specification for Glazing and Glazing Systems Subject to Airblast Loadings*. ASTM International, 2017. 4 с.
9. GSA-TS01:2003. *Standard test method for glazing and window systems subject to dynamic overpressure loadings*. US General Services Administration, 2003. 6 с.
10. Information Bulletin: *Blast Protection for Windows*. Publications UN Department of Safety and Security. Division of Specialized Operational Support Physical Security Unit (PSU), 2021. 39 с.
11. ISO 16933:2007-07. *Glass in building — Explosion-resistant security glazing — Test and classification for arena air-blast loading*. International Organisation for Standardisation, 2007. 22 с.
12. ISO 16934:2007-07. *Glass in building — Explosion-resistant security glazing — Test and classification by shock-tube loading*. International Organisation for Standardisation, 2007. 21 с.
13. JRC98372 ERNCIP thematic area. *Recommendations for the improvement of existing European norms for testing the resistance of windows*. European Commission — Joint Research Centre, 2015. 37 с.
14. *Voluntary Guide Specification for Blast Hazard Mitigation for Vertical Fenestration Systems*. AAMA 510-14. The American Architectural Manufacturers Association (AAMA), 2014. 5 с.

References

1. Derzhavniy standart Ukrainy. (2019). DSTU EN 13123-1:2019. *Vikna, dveri ta zhalyuzi. Stiykist' do vybuchu. Klasyfikatsiya. Chastyna 1: Metod vyprobuvannya v udarniy trubi (Windows, doors and shutters. Resistance to explosion. Classification. Part 1: Shock tube test method)*. Kyiv: DP "UkrNDNTs". (in Ukrainian)
2. Derzhavniy standart Ukrainy. (2008). DSTU EN 13123-2:2006. *Vikna, dveri ta zhalyuzi. Stiykist' do vybuchu. Klasyfikatsiya. Chastyna 2: Polihonne vyprobuvannya (Windows, doors and shutters. Resistance to explosion. Classification. Part 2: Arena test method)*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (in Ukrainian)
3. Derzhavniy standart Ukrainy. (2019). DSTU EN 13124-1:2019. *Vikna, dveri ta zhalyuzi. Stiykist' do vybuchu. Metod vyprobuvannya. Chastyna 1: Udar na truba (Windows, doors and shutters. Resistance to explosion. Test method. Part 1: Shock tube)*. Kyiv: DP "UkrNDNC". (in Ukrainian)
4. Derzhavniy standart Ukrainy. (2008). DSTU EN 13124-2:2006. *Vikna, dveri ta zhalyuzi. Stiykist' do vybuchu. Metod vyprobuvannya. Chastyna 2: Polihonne*

vyprobuvannya (Windows, doors and shutters. Resistance to explosion. Test method. Part 2: Arena test). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (in Ukrainian)

5. Derzhavniy standart Ukrainy. (2014). DSTU EN 13541:2014. Sklopakety. Vybukhostiike zakhysne sklinnia. Vyprobuvannya ta klasyfikatsiia (Glass in building – Security glazing – Testing and classification of resistance against explosion pressure). Kyiv: Ministerstvo ekonomichnoho rozvytku i torhivli Ukrainy. (in Ukrainian)

6. ASTM International. (2017). ASTM F1642/F1642M-17: Standard test method for glazing and glazing systems subject to airblast loadings. West Conshohocken, PA: ASTM International. (in English)

7. ASTM International. (2019). ASTM F2248-19: Standard practice for specifying an equivalent 3-second duration design loading for blast resistant glazing fabricated with laminated glass. West Conshohocken, PA: ASTM International. (in English)

8. ASTM International. (2017). ASTM F2912-17: Standard specification for glazing and glazing systems subject to airblast loadings. West Conshohocken, PA: ASTM International. (in English)

9. US General Services Administration. (2003). GSA-TS01:2003. Standard test method for glazing and window systems subject to dynamic overpressure loadings (6 p.). Washington, DC: US General Services Administration. (in English)

10. United Nations Department of Safety and Security, Division of Specialized Operational Support, Physical Security Unit (PSU). (2021). Information bulletin: Blast protection for windows (39 p.). United Nations Publications. (in English)

11. International Organization for Standardization. (2007). ISO 16933:2007-07. Glass in building — Explosion-resistant security glazing — Test and classification for arena air-blast loading (22 p.). ISO. (in English)

12. International Organization for Standardization. (2007). ISO 16934:2007-07. Glass in building — Explosion-resistant security glazing — Test and classification by shock-tube loading (21 p.). ISO. (in English)

13. European Commission — Joint Research Centre. (2015). JRC98372 ERNCIP thematic area: Recommendations for the improvement of existing European norms for testing the resistance of windows (37 p.). Publications Office of the European Union. (in English)

14. American Architectural Manufacturers Association (AAMA). (2014). AAMA 510-14: Voluntary guide specification for blast hazard mitigation for vertical fenestration systems (5 p.). AAMA. (in English)

Abstract

Mykhailo Orlenko, post-graduate student, Department of architectural structures, Kyiv National University of Construction and Architecture.

Testing translucent structures for shock wave resistance: analysis of international standards and prospects for their application in Ukraine

The article analyzes the existing normative documents regulating requirements to explosion-resistant glazing systems and testing methods, including national standards of Ukraine, countries of EU and USA, international standards and standards of voluntary certification of the associations of the manufacturers of glazing systems.

In recent years the civil infrastructure in Ukraine was harmed extensively due to warfare, including consequences of blast waves. One of the most grievous types of consequences are traumas caused by splinters of broken glass to humans. Consequently the importance of explosion resistant enclosing structures and minimization of consequences increases. The present day market proposes numerous solutions for improvement of explosion resistance values, including so called “protection films”. However most of them haven’t undergone any serious tests and certification.

Two principal methods of practical testing are proposed in standards, such as shock tube and field tests with observed explosions. Both have their specific advantages and drawbacks. Tests in shock tubes have advantages of better controlled environment, safety and lower cost, on other hand they are limited in realism and cannot be scaled as the tested samples are limited with size of the tube intersection. Field tests are more expensive, harder to control and predict results and need to be additionally controlled for safety, but provide the advantage as being more realistic and can represent more diverse aspect of explosion resistance of tested structures.

Most existing standards consider scenarios of terrorist attacks such as portable improvised explosive devices and sometimes vehicle based improvised explosive devices being used, however experience of recent years in Ukraine displays more diverse types of hazards, so testing should not be limited only to existing classes of resistance.

The article proposes development of regulations in Ukraine through implementation of certain international standards.

Keywords: glazing systems; explosion resistance; field tests.