

УДК 534.1:539.3

**Родічев Ю. М., Шабетя О. А., Сорока О. Б., Ковальов В. Д.,  
Васильченко Я. В.**

## **ВПЛИВ ШВИДКОСТІ УДАРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА СТІЙКІСТЬ ТА ПОШКОДЖУВАНІСТЬ ЗАХИСНОГО СКЛА**

Скління кабін банківських споруд, машин та інших транспортних засобів, що застосовуються при вирішенні спеціальних завдань, потребує прозорого балістичного захисту від раптового ураження при нападі з застосуванням стрілецької зброї. Для таких умов машини проходять обладнання елементами непрозорого бронювання. При цьому частина елементів скління може перекриватися броньованими силовими елементами та деталями кріплення, які монтуються на зовнішній поверхні силових конструкцій кабіни або закріплюються зсередини кабіни. Основою такого захисного скління є багатошарові світлопрозорі елементи, які представляють собою склополімерні ламіновані блоки з листового скла, шарів полікарбонату та адгезійних прошарків. Експлуатаційні характеристики таких багатошарових структур залежать від характеристик стекел, адгезійних матеріалів, композитної структури в цілому та її здатності зберігати властивості моноліту впродовж часу при складному та екстремальному багатократному ударному навантаженні [1, 2].

Підвищення експлуатаційних характеристик та рівня захисту скління машин є складною технічною проблемою, яка потребує комплексного підходу для розроблення оптимальних технічних рішень [3]. Такий підхід має передбачати:

- визначення технічних вимог до бронювання, у першу чергу, рівня необхідного захисту окремих частин скління;
- врахування реальних умов балістичного ураження, у тому числі відстані та напрямків ураження з імовірних видів стрілецької зброї та набоїв;
- врахування масштабного фактору і статистичних параметрів точності ураження залежно від типів зброї та умов дій нападника;
- розроблення схем і структури систем прозорого бронювання вікон різних типів машин, оптимізованих за параметрами ваги захисного скління та його балістичної стійкості з урахуванням швидкості ударника, а також конструкційних особливостей об'єкта бронювання і технічних вимог «Замовника»;
- визначення вимог щодо елементів скління, у тому числі, стосовно матеріалів для їх виготовлення, форм, розмірів, способів кріплення та умов застосування;
- розроблення експериментальних варіантів прозорих захисних елементів та визначення їх працездатності.

Стандартні випробування для оцінки кулетривкості багатошарових прозорих елементів в Україні традиційно проводяться згідно з ДСТУ 4546:2006 (EN 1063:1999) «Скло в будівництві. Захисне скління. Випробування та класифікація за кулетривкістю» [4], яке розроблено для архітектурного захисного скління. Відповідно до стандарту зразок багатошарового скла має розміри  $(500 \pm 5)$  мм x  $(500 \pm 5)$  мм, а дистанція випробувань трьома пострілами для класів стійкості СК 3...СК 6 становить  $10,0 \pm 0,5$  м. При цьому відстань між місцями ураження центральної частини зразка у вершини рівнобокого трикутника для класів стійкості СК3...СК6 становить  $125 \pm 20$  мм. Габарити вікон спеціальних броньованих машин можуть бути значно меншими ніж зразків за цим стандартом. Тому отримані таким чином результати балістичних випробувань не враховують негативного ефекту масштабного фактору, характерного для листового скла взагалі і для броньованого багатошарового скла зокрема. Більш високі вимоги щодо зразків передбачаються стандартними випробуваннями, які встановлюють

відповідність рівню опору броньованого скла до Level 3 за STANAG 4569 [5], реалізуються в умовах, коли балістичне ураження відбувається з дистанції 30 м в вершини рівнобокого трикутника зі стороною  $120 + 20$  мм із виключенням з випробувань зони склополімерного модулю на відстані 50 мм від краю як слабкої. Таким чином, мінімальні габарити зразків можуть бути  $240 \times 240$  мм. Для врахування особливостей руйнування при ударному навантаженні менших за розмірами вікон допускається зменшення кількості пострілів до одного.

Методика випробувань кулетривкості захисного скла у даній роботі враховувала, що багатошарові елементи захисного скління можуть мати менші розміри, а дистанція пострілів значно перевищувати передбачені стандартами відстані. У таких умовах слід приймати до уваги суттєве зменшення швидкості та енергії куль при зіткненні з перешкодою. Це має зменшити рівень ударного руйнування і механічної деградації блоків захисного скла порівняно з вимогами стандартів. Такий підхід є важливим тому, що може дозволити вирішити проблему зменшення ваги скління, стійкого до ураження ударниками та зброєю, які відповідають більшому, ніж визначеного за стандартними випробуваннями, класу кулетривкості.

Таким чином, метою дослідження є оцінка впливу швидкості (відстані, з якої здійснюється постріл до об'єкта із захисним склінням) на стійкість та пошкоджуваність захисного скла.

В натурних умовах випробовувався макет системи бронювання, що складається з чотирьох прозорих блоків суттєво менших ніж за ДСТУ 4546:2006 і мали розміри  $300 \times 300$  мм. Блоки, які було виготовлено за автоклавною технологією і мали товщину 42 мм, відповідають класу кулетривкості СК3. Система прозорого бронювання комбінованого протикульного обрамлення, уявляла собою раму з конструкційної сталі (сталь 45 товщиною 16 мм) з системою з'єднань та кріплень і гумовими прокладками, яка посилена на лицьовій поверхні накладкою з гомогенної броньованої сталі Miilux Protection 500. З метою врахування реальних умов збільшено відстань стрільби до 100 м (відстань 100 м, стрільба лежачи з упору – найбільш жорсткі умови, коли розсіювання від ураження стрілецькою зброєю є мінімальним, а енергетичний внесок в ціль максимальним), місця ураження носять випадковий характер, що моделює умови реального нападу з застосуванням стрілецької зброї. Для випробувань в якості засобу ураження застосовано кулю БЗ (броньобійно – запалювальну) 7,62 мм автоматного набою (гострокінцева куля зі сталевим загартованим осердям у сталевій оболонці вагою 7,4 г), зброя – автомат АКМ. Вибір засобу ураження відповідає захисному склу класу стійкості СК5, що перевищує клас стійкості захисного скла. З 16 пострілів з відстані 100 м в макет влучило 11, в тому числі 6 куль в склополімерну структуру та 5 куль в раму, один з пострілів в раму з частковим рикошетуванням в скло (рис. 1).



Рис. 1. Вигляд системи бронювання з блоків  $300 \times 300 \times 42$  мм після ураження кулею БЗ з відстані 100 м

Після першого пострілу кулею БЗ спостерігалася стійка тенденція: непробій для кожного з чотирьох блоків, при влученні другої кулі в блок спостерігається пробій. Аналіз результатів випробувань показав, що при використанні малорозмірних блоків, коли реалізується концепція один блок-один постріл, якісне захисне скло класу стійкості СКЗ, в умовах, коли швидкість навантаження відповідає мінімальній дистанції в реальних умовах нападу, витримує навантаження кулею БЗ, що перевищує нормовані вимоги для такого типу скла.

В умовах натурних випробувань досліджено стійкість та проведено оцінку кулетривкості і характеристик пошкоджуваності блоків захисного скла різних розмірів при ураженні кулею БЗ2 зі стрілецької зброї – гвинтівка СВД.

Захисне скло розміром  $748 \times 295$  мм товщиною 71 мм, яке попередньо випробувано трьома пострілами кулею БЗ без пробиття, досліджено додатковими двома пострілами кулею БЗ2 в зону з віддаленими ознаками деградації з дистанції  $S = 10$  м, яка відповідає швидкості ударника 808 м/с. (рис. 2, а). При аналізі місця ураження четвертою кулею отримано, що глибина проникнення кулі становить 65 мм, зона інтенсивного руйнування (з утворенням кратеру) має діаметр приблизно 107 мм, розмір каверни в діаметрі становить 54 мм. Друга куля БЗ2 при п'ятому пострілі спричиняє наскрізне пробиття. Слід враховувати, що цей результат отримано у екстремальних умовах після значної деградації механічного стану блоку після трьох попередніх пострілів кулею БЗ. Тому структура блоку може мати більш високу кулетривкість при зменшенні кількості пострілів за стандартними вимогами.

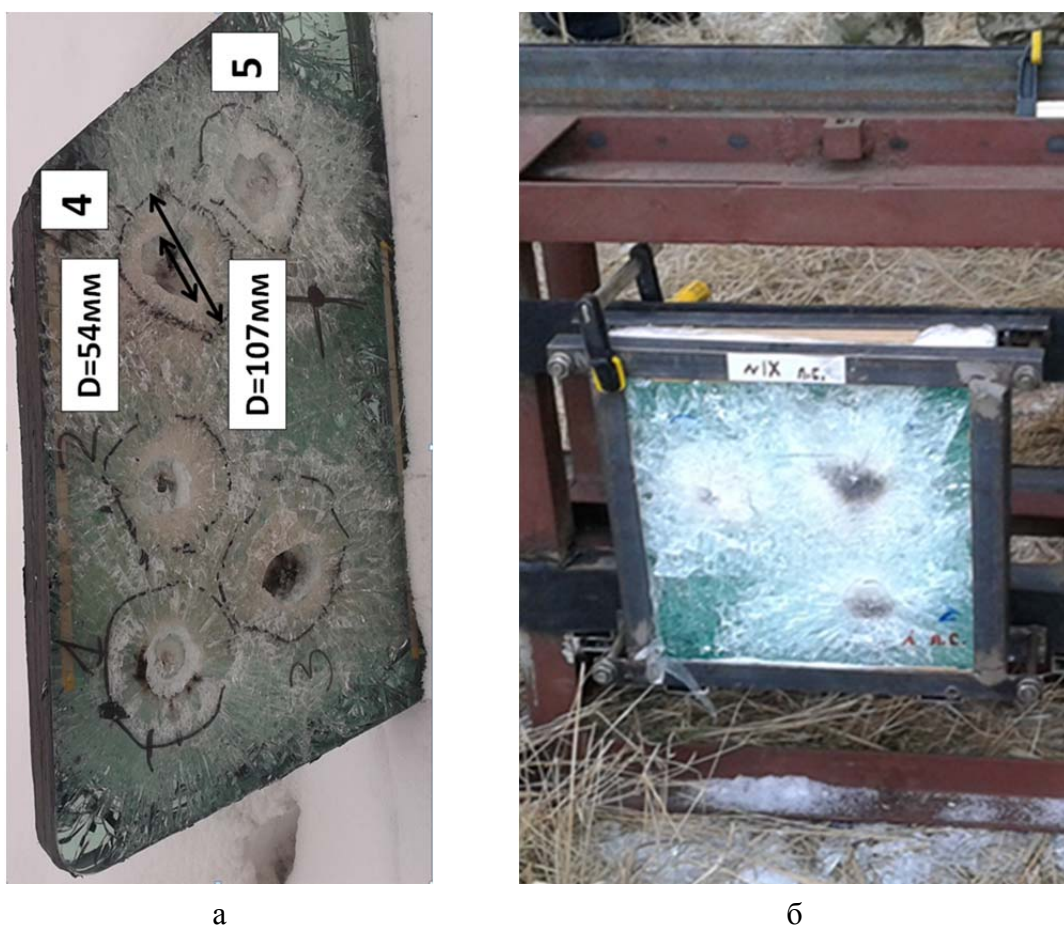


Рис. 2. Вигляд прозорого захисного скління після випробувань кулями БЗ2:  
 а – бокове скління броньованої машини  $748 \times 295 \times 71$  мм (попередньо випробувано зі стрілецької зброї кулями БЗ (ураження 1, 2, 3)). Ураження 4, 5 – кулями БЗ2 – дистанція 10 м, швидкість 808 м/с;  
 б – захисний блок  $300 \times 300 \times 71$  мм з ураженнями від кулі БЗ2 з дистанції 30 м

При випробуваннях блоку розмірами  $300 \times 300$  мм товщиною 72 мм кулями Б32 з відстані 30 м спостерігалась відсутність пробою після двох пострілів та пробиття після третього пострілу (рис. 2, б).

Аналіз показав, що перша куля зруйнувала перший шар захисного скла, глибина проникнення становила 20 мм, друга куля зупинилась в 5-му шарі скла, глибина проникнення 50 мм.

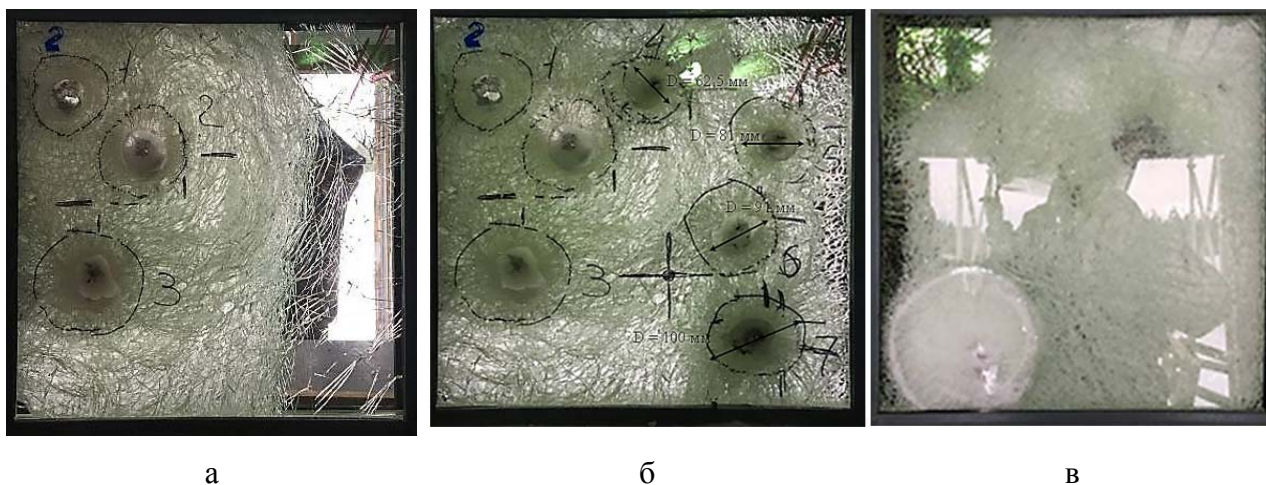
Здійснювалось також дослідження захисного скла розміром  $503 \times 503 \times 46$  мм проти куль Б32 з гвинтівки СВД зі швидкістю, що відповідає дистанції обстрілу 300...500 м. Розрахункова дистанція обстрілу скорегована зменшенням початкової швидкості кулі шляхом зміни навіски пороху, реальна дистанція становила 10 м. Досліджуване скло було попередньо визначено як стійке проти куль ЛПС калібру  $7,62 \times 54$  мм при ураженні з гвинтівки СВД з відстані 10 м, який відповідає швидкості кулі 847...867 м/с – ураження 1, 2, 3 на рис. 3, а).

Отримано, що при зменшенні швидкості ударника (зростанні дистанції):

- Кількість уражень без наскрізного пробиття становить два при дистанції  $S = 30$  м та три ураження при  $S = 500$  м порівняно з одним ураженням без пробиття при дистанції 10 м.

- Діаметр зони інтенсивного руйнування на лицьовій поверхні після першого пострілу зменшується в наступній послідовності: 107 мм ( $S = 10$  м); 80 мм ( $S = 30$  м); 62,5 мм ( $S = 500$  м) (рис. 2; 3, б).

- На тильній поверхні захисного скла для дистанцій ураження 30 м та більше відсутня зона випучування (рис. 3, в), яка для відстані пострілу 10 м становила 120 мм.



а

б

в

Рис. 3. Вигляд досліджуваного броньованого скла розміром  $503 \times 503 \times 46$  мм: лицьова поверхня після попередніх випробувань кулями ЛПС – ураження 1, 2, 3 (а); лицьова поверхня після випробувань кулями Б32 – ураження 4, 5, 6 – дистанція 450...490 м, швидкість 478...501 м/с; ураження 7 з наскрізним пробиттям — дистанція 290 м, швидкість 685 м/с; тильна поверхня після повного комплексу випробувань – семи уражень (в)

- Глибина проникнення першої кулі при збільшенні дистанції з 10 м до 30 м зменшилась більш, ніж втричі і становила 20 мм порівняно із 65 мм для дистанції 10 м. При збільшенні дистанції до 500 м глибина проникнення першої кулі в зону з ознаками деградації у полегшений блок товщиною 46 мм становила 18 мм (рис. 4).

- Збільшення дистанції пострілу призводить до збільшення кількості уражень без наскрізного пробиття.

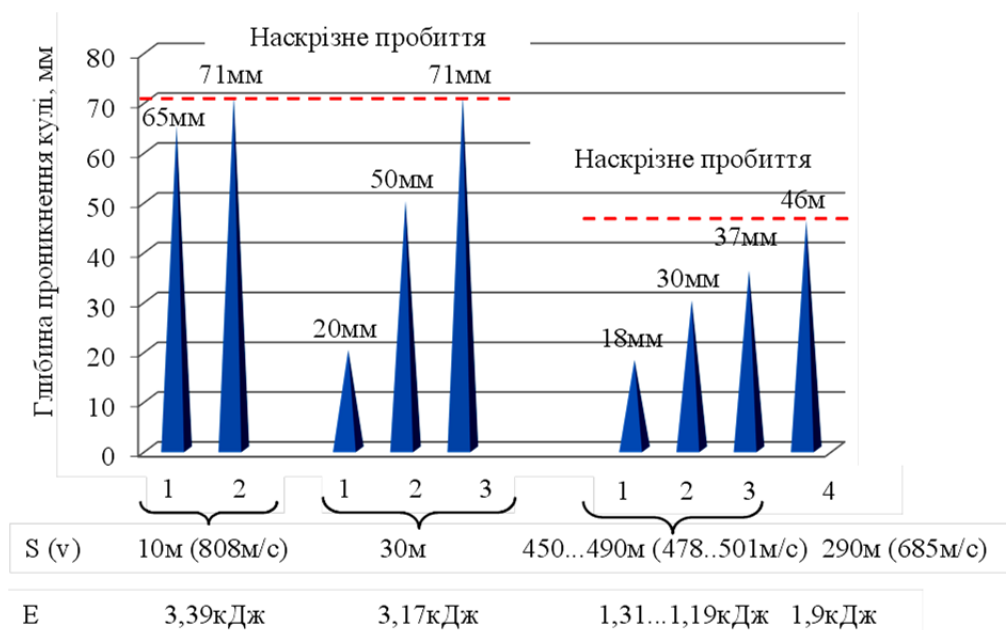


Рис. 4. Порівняльні діаграми глибини проникнення кулі для досліджуваних блоків відповідно до дистанції  $S$ , швидкості  $v$  та енергії  $E$  ударного навантаження

## ВИСНОВКИ

Розроблено методику випробувань кулестійкості захисного скла за урахуванням стандартних вимог та особливостей балістичного ураження за стрілецької зброї калібру 7,62 мм кулями БЗ та БЗ2 в реальних умовах нападу, коли швидкість кулі є значно меншою, ніж передбачено стандартом ДСТУ 4546:2006. Методика частково враховує вимоги стандарту STANAG 4569 для випробувань малорозмірних прозорих броньованих блоків.

Встановлено, що кулетривкість захисного скла суттєво підвищується при дії кулі БЗ та БЗ2 в разі зменшення швидкості ураження до рівня, що відповідає реальним відстаням збройного нападу при експлуатації скління спеціальних споруд і машин. За таких умов суттєво підвищується розсіяння місць влучення та статистична імовірність ураження малорозмірних стекол значно зменшується згідно зі стрілковими таблицями відповідних типів стрілецької зброї.

Враховання отриманих результатів дає можливість оптимізувати структуру захисного скління для зменшення товщини блоків, підвищення оптичної прозорості та зменшення ваги систем прозорого бронювання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Structural Strength of Laminated Glass / Rodichev Y., Veer F., Strizhalo V., Soroka E., Shabetia A. // Proc. of Challenging glass 6 : Conference on Architectural and Structural Applications of Glass. – 2018. – TU Delft, Netherlands, 2018. – P. 453–462.
2. Improvement in ballistic impact resistance of a transparent bulletproof material laminated with strengthened soda-lime silicate glass / G. Shim, S. Kim, H. Eom // Composites Part B. – 2015. – 77. – P. 169–178.
3. Перспективи розвитку і впровадження систем оперативного прозорого бронювання при ремонті та модернізації військової техніки / Родічев Ю. М., Сорока О. Б., Бісик С. П., Кравченко В. Л. // V Scientific and Practical Conference "Coordination problems of military technical and defensive industrial policy in Ukraine. Weapons and military equipment, development, perspectives : Abstracts or reports, October 11–12 2017 : Central Research Institute of Arms of the Armed Force of Ukraine. – 2017. – P. 76.
4. ДСТУ 4546:2006 (EN 1063:1999) Скло в будівництві. Захисне скління. Випробування та класифікація за кулетривкістю / Держспоживстандарт України. – 2006. – 10 с.
5. STANAG 4569 Procedures for evaluating the protection levels of logistic and light armoured vehicles for ke and artillery threats / NATO Standardization Agency. – 2004. – 47 p.