

ЗАХИСТ ОБТ ВІД ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ ТА УРАЖЕННЯ

УДК: 624.014 (623.093, 351.86)

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.31.2024.71-82>А.С. Білик¹, Я.М. Кашуба²¹Науково-дослідний інститут воєнної розвідки, Київ²Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

Article history: Received 28 October 2024; Revised 31 October 2024; Accepted 04 November 2024

ФАКТОРИ ЗАГРОЗ ВІД БПЛА ПРОТИВНИКА ТИПУ «ЛАНЦЕТ» ТА ЗАСОБИ ІНЖЕНЕРНОГО ЗАХИСТУ ВІД НИХ, У ТОМУ ЧИСЛІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПРЕДЕТОНАЦІЙНИХ ЕКРАНІВ

У статті розібрано відомі параметри безпілотних літальних апаратів рф типу «Ланцет» та загрози від них для одиниць військової техніки та споруд. Наведені формули та розрахункові параметри факторів ураження. Проаналізовано механізми руйнування захисних матеріалів від дії цих факторів. Показано, що основну небезпеку при підриві бойової частини несе кумулятивний струмінь. Проведені розрахунки інженерних захисних систем для збільшення живучості військової техніки та споруд. Доведено, що укриття повинні мати як предетонаційні екрани, так і внутрішню захисну оболонку для нейтралізації всіх факторів ураження. Обчислені відстані, на яких кумулятивний струмінь не становить значної небезпеки і бойова частина безпілотних літальних апаратів може розглядатися, як осколково-фугасна. Запропонована класифікація системи інженерного захисту для збільшення живучості військової техніки та споруд за категоріями, матеріалом та ступенем захисту. Сформульовано основні вимоги, яким повинні відповідати захисні предетонаційні екрани. Розглянуто приклади ефективних варіантів улаштування захисних предетонаційних екранів, зокрема на основі сіток кільцевого плетіння. Міцність таких виробів підтверджено чисельним моделюванням у програмних комплексах на основі методу скінченних елементів, а також натурними експериментами, проведеними за кордоном. Відмічено, що самі по собі сітчасті та решітчасті предетонаційні екрани не забезпечують повного захисту, вони тільки здатні створити безпечну віддал від ОБТ до можливої точки вибуху бойової частини безпілотного літального апарата, а також підвищують шанс на викривлення його траєкторії і не спрацювання підривача при зіткненні з екраном.

Ключові слова: інженерний захист, БпЛА, Ланцет, «Країна-фортеця», предетонаційні екрани, металеві конструкції, сітки, фортифікація, захисні споруди.

Постановка проблеми

Станом на листопад 2024 року триває третій рік відсічі Україною повномасштабного вторгнення рф, а загалом військова агресія триває понад 10 років. В країні два роки значно зросла і продовжує зростати тенденція застосування безпілотних систем, насамперед літальних апаратів (далі БпЛА) для вирішення задач розвідки, ураження, підтримки тощо. При цьому бойові БпЛА можуть бути віднесені до трьох типів: 1) ударні БпЛА, які несуть на собі засоби ураження (скиди, ракети тощо) і мають багаторазове використання; 2) БпЛА типу «баражуючий боеприпас», які здатні за наперед заданою програмою або роботизовано «баражувати» перед наведенням на ціль; 3) БпЛА камікадзе, які скеровуються оператором, можуть мати автоматизовані системи донаведення тощо. Порівняно мала вартість та висока

ефективність БпЛА як засобів ураження робить їх перспективною зброєю для широкого спектра бойових дій. В таких умовах захист одиниць та зразків військової техніки (далі – ОБТ) і споруд від бойових БпЛА є однією із першочергових задач. Найбільшу небезпеку при цьому становлять БпЛА типу «Ланцет».

Аналіз останніх досліджень та публікацій

БпЛА «Ланцет» – російський баражуючий боеприпас розробки компанії ZALA Aero (рис. 1).

Основні публікації щодо захисту від такого типу БпЛА присвячені засобам радіоелектронної боротьби (далі – РЕБ) [8]. В той же час системи автоматизованого донаведення у БпЛА «Ланцет» виводять на перше місце роль інженерного захисту ОБТ. Публікацій цьому питанню допоки немає, через новизну постановки питання і стрімкий розвиток озброєнь противника. Винаходи, присвячені сіткам

для затримки квадрокоптерів [13], висвітлюють лише частину проблематики, позаяк квадрокоптери не несуть механічного ударного навантаження, як у БпЛА «Ланцет». За даними дослідників Огук влучність «Ланцетів» щодо ураження цілей складає до 70%, що показує досить високу точність і ефективність цього БпЛА [9]. Найбільшу небезпеку становить

сучасна версія «Ланцет-3» (рис. 1). Концепція «Країна-фортеця», розроблена в 2022 році, має на меті системний захист від загроз, в т.ч. від БпЛА противника [1–4].

Основні відомі характеристики БпЛА типу «Ланцет-3» наведені у табл.1.

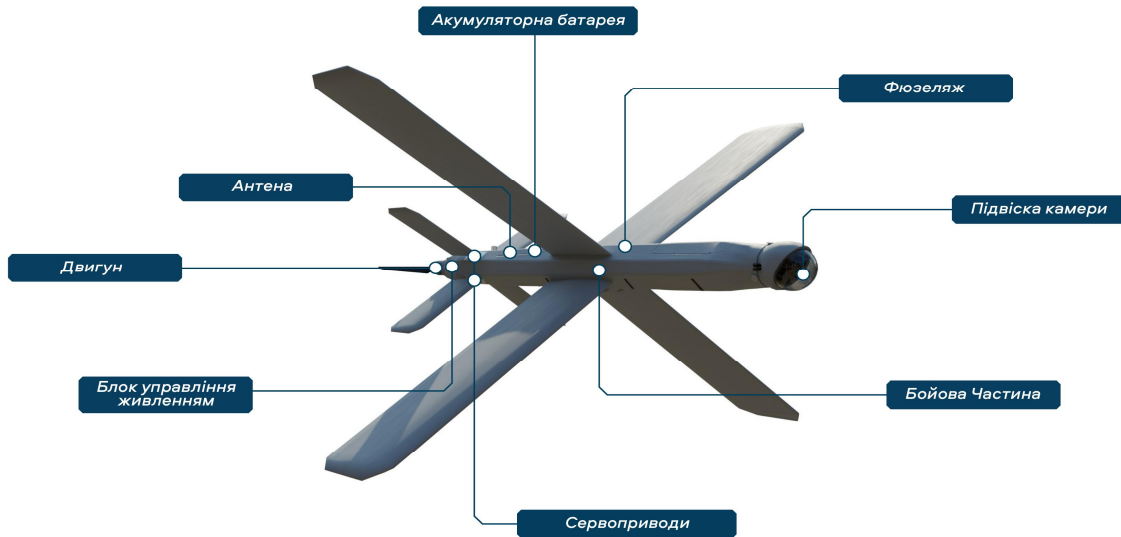


Рис. 1. Основні складові елементи БпЛА «Ланцет-3»

Таблиця 1

Характеристики БпЛА «Ланцет-3»

Характеристика	Опис
Розміри	сигароподібний корпус з двома парами непропорційно великих хрестоподібних крил, невеликі за розміром, довжина 1,65 м, розмах крил 1 м
Запас ходу	40-60 хвилин залежно від субмодифікації
Корисне навантаження або бойова частина	3-5 кг залежно від субмодифікації
Злітна маса	12 кг
Дальність польоту	40-70 км залежно від субмодифікації
Крейсерська швидкість	80-110 км/год
Максимальна швидкість у режимі "повітряного мінування"	300 км/год

Формулювання мети статті

Метою статті є висвітлити фактори загроз від БпЛА противника типу «Ланцет-3», надати класифікацію та описати розрахункові параметри засобів інженерного захисту ОВТ від БпЛА цього типу, в тому числі із використанням предетонаційних екранів.

Виклад основного матеріалу

Головними факторами ураження ОВТ, споруд та особового складу (далі – ОС) від БпЛА типу «Ланцет-3» можна назвати наступні:

ударна, пробивна дія БпЛА на великій швидкості;
кумулятивна направлена дія вибуху бойової частини (далі – БЧ) БпЛА;

вибухова ударна хвиля повітряна, також небезпечна навіть при непрямих влучаннях (відбита хвиля);
осколкове ураження первинними осколками БЧ та деталями корпусу;

вторинне ураження уламками від дерев, деталей споруд, будівель, ґрунту, каміння тощо.

Ударна, пробивна дія БпЛА на великій швидкості залежить від його маси, а також типу перешкоди, яку зустрічає планер БпЛА у на момент зіткнення. Сила удару – це сила, яка діє на фізичне тіло при контакті з іншим фізичним тілом. Наближена формула розрахунку сили удару перпендикулярно площині перешкоди [17]:

$$F = m \cdot (V_1 - V_2) / d, \quad (1)$$

де F – сила удару в ньютонках; m – маса тіла в кілограмах, яку прийнято рівною спорядженій масі БпЛА 12 кг, (консервативно, оскільки при влучанні в об'єкт у БпЛА буде зменшена вага за рахунок витрат пального); V_1 – швидкість на початку удару в м/с, яку може бути прийнято рівною максимальній, 300 км/год; V_2 – швидкість після удару в м/с, рівна 0, оскільки екран повністю зупиняє БпЛА; d_t – час контакту в секундах.

Для жорстких екранів час контакту може бути прийнято емпірично рівним $d_t = 0,05$ с [3]. Водночас для гнучких сітчастих, канатних екранів – час взаємодії БпЛА із перешкодою може бути прийнятий 0,2 с [15]. Таким чином, для жорстких або напівжорстких предетонаційних екранів (виконаних із профільних елементів, листів тощо) сила удару за формулою (1) становитиме $F = 20$ кН, а для гнучких $F = 5$ кН.

В якості БЧ у «Ланцеті-3» використовується інженерний кумулятивний заряд КЗ-6 (далі – КЗ-6), який був неодноразово виявлений українськими військовими при розбиранні збитих БпЛА цього типу [7]. КЗ-6 початково призначений для пробивання броньованих, сталевих та залізобетонних конструкцій, пошкодження військової та промислової техніки і знищення боеприпасів. Тактико-технічні характеристики (далі ТТХ) КЗ-6 відомі із довідкових джерел: загальна маса заряду 3 кг, маса вибухової речовини (далі – ВР) 1,8 кг; максимальний діаметр корпусу 11,2 см, довжина заряду 24 см, рис. 2.

КЗ-6 має металевий корпус, заряд ВР зі сплаву ТГ-40. Товщина сталевого корпусу – 1 мм. Заряд КЗ-6 кумулятивним струменем, що утворюється під час вибуху, забезпечує ініціацію вибуху боеприпасів з товщиною стінок до 15 мм і ВР без оболонки: при відкритому розташуванні з відстані до 1 м – при розташуванні боеприпасу за бронєю завтовшки до 30 мм з відстані до 0,5 м; через шар ґрунту завтовшки до 25 см. Заряд, встановлений на броні, під час вибуху забезпечує пошкодження вузлів військової техніки за бронєю завтовшки до 50 мм. Пробивана товщина кумулятивним струменем КЗ-6 і діаметр пробоїни: броні 21,5/20; бетон до 55 см; мерзлого ґрунту 80/50. Чисельник – товщина, що пробивається в см; знаменник – діаметр пробоїни в мм [5].

Під дією тиску детонаційної хвилі облицювання починає рухатися до центру, обтискаючись і стуляючись. Після змикання речовина облицювання ділиться на дві частини, роль яких значно різна. Зліва від точки змикання («вузла») із зовнішніх шарів облицювання утворюється «пест» (або стержень), в який переходить більша частина маси облицювання. «Пест» не відіграє ролі в пробиванні. Справа із внутрішніх шарів облицювання утворюється кумулятивний струмінь металу, що рухається з великою швидкістю праворуч. Саме цей струмінь забезпечує пробивання перешкод значної товщини [18].



Рис. 2. Кумулятивний інженерний боеприпас КЗ-6, як БЧ у «Ланцеті-3» [7]

Зазвичай, при збільшенні відстані до цілі, пробивна здатність кумулятивного заряду зменшується, оскільки кут нахилу летючого розплаву крапель до площини цілі збільшується, і менше енергії віддається на пробивання броні. Відомо, що при довжині струменя більше 5...8 діаметрів вирви (залежно від характеристик і конструкції заряду) струмінь втрачає стабільність і починає розпадатися на окремі фрагменти [10]. Отже, для броні – $5 \cdot 20 = 100$ см,

$8 \cdot 20 = 160$ см. Таким чином, мінімальна безпечна відстань від ОБТ до заряду з точки зору дії кумулятивного струменя – **1,6 м**. При підриві на цій віддалі вподальшому заряд КЗ-6 можна розглядати як осколково-фугасний.

Розрахунки інженерних захисних систем для збільшення живучості броньованих ОБТ. Якщо ОБТ має протиосколкове бронювання і здатність без істотних пошкоджень витримувати певне значення

пікового тиску від ударної вибухової хвилі (далі – ВУХ) та дію осколків від підриву БЧ на захисному сітчастому або стержневому предетонаційному екрані (далі – ПЕ), то достатньо тільки самого ПЕ. Дані щодо живучості броньованих ОБТ при контактному підриві містяться у довідкових посібниках

(рис. 3). Мінімальним бронюванням можна вважати еквівалентну броню 60 мм (як було вказано вище, КЗ-6 при контактному підриві забезпечує пошкодження вузлів військової техніки за бронєю завтовшки до 50 мм, а з відстані до 1 м – при розташуванні боєприпасу за бронєю завтовшки до 30 мм з відстані до 0,5 м).



Рис. 3. Ілюстрація із довідника противника із вразливими місцями і масами контактних фугасних зарядів для встановлення на ОБТ (танк) при знищенні та псуванні матеріальної частини (відступ, диверсії тощо)

Застосуємо консервативний підхід. Із довідкових джерел відомо, що для ОБТ або споруди із еквівалентною гомогенною бронєю 110-120 мм, піковий тиск, який здатні вони витримувати на фронті ВУХ, рівний $0,39 \text{ МПа} = 390 \text{ кПа}$. Коефіцієнт тротилового еквіваленту ВР ТГ-40 за довідковими джерелами становить 1,1 [5]. Відтоді тротиловий еквівалент КЗ-6 становитиме $1,8 \cdot 1,1 = 1,98 \text{ кг}$. За відомими формулами Кінгері-Булмаша [14] (які не наводяться тут із умов скороченого обсягу статті), отримуємо, шляхом ітераційного підбору:

1) Для приземного вибуху, відбитий тиск (малий кут влучання БпЛА) – безпечна відстань **3,55 м**.

2) Для повітряного вибуху, спадаючий тиск (великий кут влучання БпЛА) – безпечна відстань **2,2 м**.

Стійкість результатів підтверджується розрахунками за формулами Садовського, які менш точні [17]:

для повітряного вибуху

$$\Delta p_f = 10^5 \left(\frac{0,84q^{1/3}}{R} + \frac{2,7q^{2/3}}{R^2} + \frac{7q}{R^3} \right), \quad (2)$$

для наземного вибуху

$$\Delta p_f = 10^5 \left(\frac{q^{1/3}}{R} + \frac{4,3q^{2/3}}{R^2} + \frac{14q}{R^3} \right). \quad (3)$$

У формулах (2) та (3) величина R – це віднесення точки вибуху від об'єкта, що досліджується, м. Формула (2) дає результат 2,75 м, формула (3) дає результат 2,2 м. Емпірична формула для розрахунку пікового тиску ВУХ у близькій зоні від ОБТ або споруди при дії мінно-вибухових пристроїв, якщо відстань від точки вибуху не більш ніж 3 м, становить:

$$\Delta p = 60\psi \frac{m^{0,87}}{R^{2,6}} (1 + \cos \theta), \quad (4)$$

де m – вага заряду ВР, кг; θ – кут падіння вибухової хвилі, град; ψ – коефіцієнт глибини закладання заряду, під час знаходження на поверхні ґрунту $\psi \approx 1$. Ця формула дає ще менші значення пікового тиску, що підтверджує консервативність застосованого нами підходу. Обидві отримані величини 2,2 та 2,75 м – більші за мінімальну безпечну відстань від ОБТ або споруди до заряду з точки зору дії кумулятивного струменя, обчислену раніше (1,6 м), а отже можуть бути прийняті як остаточні для захисту ОБТ або споруд із еквівалентною гомогенною сталеву бронєю 110-120 мм. Для ОБТ або споруд з іншим типом бронювання, конфігурацією тощо – значення безпечних відстаней можуть бути обчислені окремо, в тому числі із залученням спеціалізованого програмного забезпечення на основі методу скінчених елементів, що є рекомендованим. Якщо не стоїть питання збереження корпусу ОБТ або споруди від руйнування на згин і зріз при ураженні БЧ БпЛА «Ланцет-3», то із умов непробиття броні кумулятивним струменем, відстань до ПЕ має бути прийнята 1,6 м (критерій живучості ОС всередині ОБТ або споруди). Мінімальний критерій живучості з умов недопущення детонації боєприпасів ОБТ або споруди за бронєю завтовшки до 30 мм складає до 0,5 м, що підвищує шанси виживаності ОС та ремонтпридатності ОБТ або споруди. Нерозрахункові величини рекомендовано уточнювати експериментальним шляхом.

Розрахунки укриттів для збільшення живучості неброньованих ОБТ. Якщо ОБТ або споруда не має достатніх власних захисних властивостей

(наприклад, гармати, автомобілі, вогневі позиції тощо), то окрім ПЕ, слід передбачати другий екран, який затримуватиме уламки і залишкову ударну хвилю від вибуху. Як правило, такий захист виконується у вигляді захисного каркасу зі сталевих листів, водостійкої товстої фанери, дощок тощо.

При використанні стаціонарних споруд польової фортифікації для захисту від прямого влучання БпЛА типу «Ланцет-3» можуть бути застосовані розрахунки за формулами [19]. Методика не наводиться тут із умов скороченого обсягу статті. За результатами обрахунку, при улаштуванні повного стаціонарного укриття за допомогою ґрунтової обшивки, необхідне мінімальне укриття ґрунтом, яке має бути **1,6 м**, або **1,1 м** із додатковим матрацом із деревини **30 см**. Якщо матрац із залізобетону марки М-400, його товщина має бути не менше **7 см**, з противідкольним шаром (рис. 4 а). Отримані значення більші, ніж ефективна глибина ураження кумулятивною складовою заряду КЗ-6, що підтверджує достатність розрахунків.

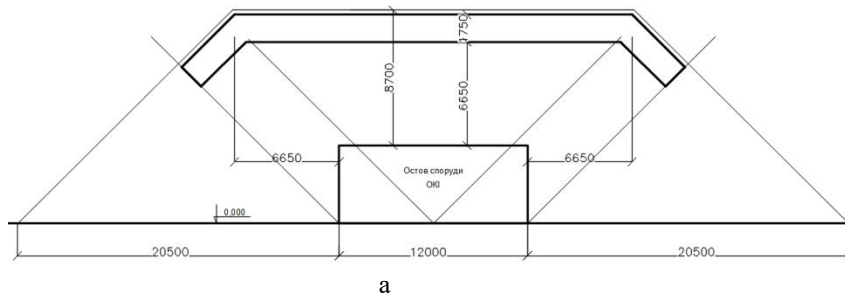


Рис. 4. Обшиване ґрунтом стаціонарне укриття із матрацом від прямого влучання (а), захисне укриття із покриттям з фортифікаційних габіонів «HESCO» (б)

Якщо є фізична можливість, можливо улаштувати захист ОБТ або споруди за допомогою бетонних або залізобетонних елементів. При цьому з внутрішнього боку обов'язковий противідкольний шар (із дрібною металевою сіткою або сталевим листом завтовшки 3-4 мм. Товщина бетонних стінок має бути не менше 60 см (що більше 55 см, заявлених у характеристиках пробивності КЗ-6). Товщина залізобетонних стінок при прямому влучанні може бути прийнята не менше 45 см. Згідно з нормами США [12] формула для максимального проникнення у бетон проникної БЧ із затримкою має вигляд

$$P_c = \frac{56.6 \left(\frac{m}{D^3} \right)^{0.075} \bar{N} m v^{1.8}}{D^2 \sqrt{f'_c}} \left(\frac{D}{c} \right)^{0.15} f_{age} + D, \text{ мм.} \quad (5)$$

У формулі (5) D – діаметральний розмір проникної БЧ, мм; m – маса БЧ, кг; c – максимальний розмір щебеню наповнювача, мм (який може бути прийнятий 19 мм для більшості бетонів і 4 мм для мурування із бетонних блоків) v – швидкість на момент влучання, м/с; f'_c – міцність бетону на стиск, МПа; \bar{N} – коефіцієнт носової частини,

Для укриття також можуть бути застосовані ґрунтовмісні захисні фортифікації габіони, що улаштовуються згідно з рекомендаціями компанії-виробника «HESCO» тощо. За довідником компанії «HESCO» [11], один ряд габіонів типу МІЛ-1 (дві сітки, геотекстиль та 1,1 м ущільненого піску з гранульованим щебеневим відсівом) є достатнім для того, щоби затримати дію осколків та ВУХ від зарядів, еквівалентних КЗ-6 (артилерійські снаряди 122-мм, 155-мм калібру). При цьому слід врахувати, що незамкнені (консольні) конструкції стін із габіонів, створюють безпечну «тінь» від дії ВУХ за ними – не більше ніж на відстані 3...6 висоти стінки, далі ВУХ діє знову з повною силою. З огляду на ТТХ БпЛА типу «Ланцет-3», круговий захист ОБТ із габіонів може бути віднесений тільки до часткових, оскільки не забезпечує укриття верхньої проекції ОБТ. Проте із допоміжними конструкціями можливо улаштувати і укриття із габіонів з покрівлею (рис. 4 б).

рівний від 0.91 до 1.39; f_{age} – коефіцієнт віку бетону, рівний 1.05 при віці до 28 днів включно, 1.0 при віці понад 360 днів. Ця формула дає значення **128 мм**. Формула для забезпечення від відколювання [12]

$$T_{BD} = D \left[1.375 \left(\frac{P_c}{D} \right) + 2 \right] \quad (6)$$

дає значення **416 мм**; з додатковим урахуванням початкового проникнення БпЛА та округленням в більший бік – **45 см**.

При використанні ПЕ із сітчастих або профільних елементів можливо розрахувати протиосколковий захист ОБТ або споруди (внутрішню оболонку-екран). За відомими формулами Вена [16], розрахунки показують, що для затримання осколків на безпечній відстані від вибуху БЧ БпЛА «Ланцет-3», листовий захисний каркас для неброньованих ОБТ, споруд або їх частин повинен бути виконаний: у варіанті із дерев'яних дощок товщина повинна бути не менше 40 мм, у фанерному варіанті товщина листів повинна бути не менше 30 мм; у сталевому варіанті товщина листів повинна бути не менше 6 мм. При цьому основу каркаса мають складати металеві

або дерев'яні стержні з перерізом, як правило, не менше 100 мм.

Окрім вищенаведених факторів, при підриві БЧ БпЛА можливе вторинне ураження ОВТ, споруд та ОС уламками від дерев, деталей споруд, будівель, ґрунту, інших ОВТ тощо, проте ці фактори мають менші характеристики порівняно із осколками первинного ураження і можуть окремо не розглядатися.

У 2023 році з'явилися відомості про використання противником у БпЛА «Ланцет-3» дальнього спрацювання БЧ (неконтактна детонація), що, вочевидь, зумовлене використанням ЗСУ захисних сітчастих бар'єрів, а також схильністю планера БпЛА до зміни траєкторії при випадковому контакті із кущами, гілками дерев тощо біля цілі [6]. Проте, як показано вище, наведені параметри БЧ при підриві на віддалі 5..10 м не здатні забезпечити ефективного ураження броньованих або захищених додатково ОВТ чи споруд.

Класифікація та приклади улаштування укриттів для збільшення живучості ОВТ. Як було показано вище, одним із найбільш ефективних методів захисту ОВТ або споруд від пошкодження факторами ураження від прямого влучання БпЛА типу «Ланцет-3» є створення безпечної віддалі. Системи інженерного захисту ОВТ або споруд можна умовно поділити на декілька категорій:

Мобільні збірно-розбірні системи інженерного захисту.

Мобільні швидкокомтовані нерозбірні системи інженерного захисту.

Стационарні системи інженерного захисту.

Комбіновані системи інженерного захисту.

Мобільні системи інженерного захисту, що встановлюються безпосередньо на ОВТ.

Мобільні системи інженерного захисту, що встановлюються безпосередньо на ОВТ, у цій роботі не розглядаються, оскільки відносяться до устаткування забезпечення живучості власне ОВТ, та досягти для них неспеціальними методами захисту проти прямих влучань БпЛА типу «Ланцет-3» без впливу на ТТХ ОВТ – неможливо (необхідна велика безпечна відстань).

За матеріалом, системи інженерного захисту поділяються на:

із застосуванням сітчастих елементів;

із застосуванням жорстких стержневих елементів;

із застосуванням жорстких листових елементів;

із застосуванням ґрунтовмісних габйонів та подібних їм конструкцій;

комбіновані системи.

Ступінь захисту, який можуть надавати системи інженерного обладнання для ОВТ або споруд, може

бути повним (забезпечує захист ОВТ або споруду від прямих влучань БпЛА типу «Ланцет-3») або частковим (забезпечує захист ОВТ або споруду тільки від непрямих влучань БпЛА типу «Ланцет-3»).

До мобільних збірно-розбірних систем інженерного захисту відносяться:

системи із сітчастих та жорстких елементів;

системи із листових елементів;

комбіновані системи.

Системи із сітчастих та жорстких елементів призначені для створення ПЕ, від зіткнення з якими БпЛА або зруйнується, або вибухне через передчасну ініціацію БЧ. ПЕ розраховуються на ударне навантаження від прямого влучання БпЛА, з урахуванням того, що підривач БЧ може бути із затримкою. ПЕ для захисту ОВТ або споруд повинні відповідати наступним основним вимогам:

1) Швидка збірно-розбірність, довговічність.

2) Висока живучість та ремонтпридатність.

3) Мала помітність та маскувальні властивості.

4) Невисока вага та адаптивність до різних умов монтажу.

Таким вимогам відповідають насамперед сітчасті ПЕ, за рахунок високої міцності дротів, з яких вони виготовляються, значних експлуатаційних властивостей та легкості улаштування.

Один із варіантів улаштування сітчастих укриттів – кодифікований МО України виріб «Захисний екран/легка сітка "RingGuard" з натяжним каркасом» (рис. 5 і рис. 6). Передбачено, що максимальний крок між опорами та проліт – 4,5..6 м.

Рекомендовані університетом м. Тренто (Італія) параметри основної сітки для ПЕ: вічко 250 мм, тип 6-1; високоміцний сталевий дріт сіток має прийматися за розрахунком, рекомендовано використовувати канатне (багатожилвне) семип'ядне плетіння, діаметр дротів 2.0 мм із опором на розрив не менше 1770 Н/мм², або дріт діаметром 3,0 із опором на розрив 1560 Н/мм² (рис. 7). В наближеному розрахунку, при найгіршому випадку, коли пікове навантаження від удару приходиться на одне кільце, зусилля у дроті може бути прийнятим $N = 5$ кН. За паспортом вибраного виробу, [20] навантаження на розрив кільця у граничних умовах рівне 60.8 кН, що значно більше за діюче навантаження, отже міцність сітки на розрив забезпечена. Насправді міцність сітки загалом може бути прийнята ще вищою, оскільки у роботу зазвичай включаються багато кілець, а не одне. Тести, сертифіковані університетом м. Тренто (Італія) [21], показали мінімальне навантаження на розрив сітки близько 400 кН на зафіксоване полотно розміром 3,27x3,27м.

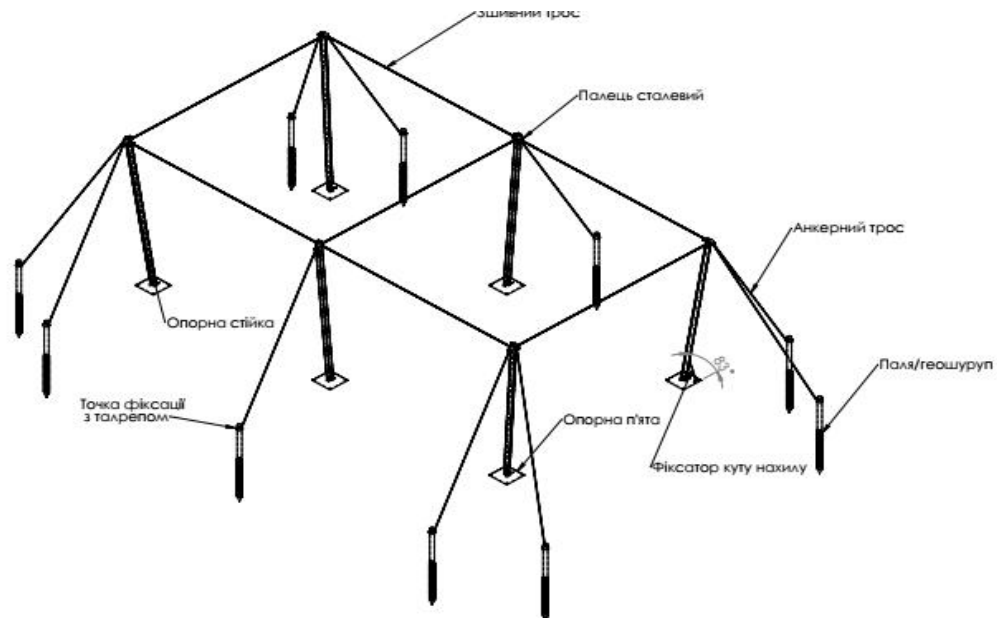


Рис. 5. Схематичний вигляд динамічного натяжного каркаса у виробі “Захисний екран/легка сітка “RingGuard” з натяжним каркасом”



Рис. 6. Система укриття ОБТ під “Захисний екран/легка сітка “RingGuard” з натяжним каркасом” – екран із сіток та динамічний каркас з жорстких стержневих опор: перемичка (гнучка із сталевого канату діаметром 10 мм; сталева опорна стійка з профільної труби 80x80 мм; відтяжка зі сталевого канату 10 мм; опорний вузол відтяжки



Рис. 7. Тест на розрив кільцевої сітки з дроту діаметром 2,0 мм (дріт оцинкований клас А, мінімальне навантаження на розрив 1770Н/мм²), вічко 250 мм, плетіння в 7 жил, тип з'єднання 6 в 1

Опорний вузол шарнірної стійки може бути забезпечений шляхом її анкерування у ґрунт на глибину не менше 1 м, за допомогою забивних арматурних анкерів. Опорний вузол гнучкої відтяжки може бути забезпечений шляхом її зачеплення через коуш на забивний у ґрунт арматурний анкер на глибину 1,2-1,5 м, або геошуруп 76x3x1200 мм з навантаженням на висмикування 16 кН. Кріплення гнучких елементів до жорстких стержнів та між собою – здійснюється за допомогою коушів та талрепів на кінцях тросів, що з'єднуються із відповідними прорізами, гаками, пластинами і петлями, привареними до жорстких стержневих елементів. При цьому слід зазначити, що для додаткового захисту ОВТ або споруди від скидних боєприпасів з дронів, в ПЕ слід застосовувати допоміжну сітку, з меншою чарункою – сітка металева подвійного

кручення з шестикутним вічком, з дроту $\varnothing 2.2$ мм, дріт оцинкований, мінімальне навантаження на розтин дроту $350 \text{ Н/мм}^2 - 500 \text{ Н/мм}^2$, вічко $\varnothing 60 \times 80$ мм. При цьому, окрім верхнього та бічного улаштування сіток ПЕ, мають бути забезпечені передні та задні захисні елементи – штори, з можливим швидким монтажем/демонтажем, для забезпечення кругового захисту ОВТ незалежно від кутів влучання БпЛА, без втрати мобільності та здатності ОВТ до стрільби. Для підвищення ефективності захисту ОВТ у задній проєкції можуть застосовуватися ґрунтовмісні швидко-монтажні фортифікаційні габіони. Анкерування кільцевої сітки перекинутої через каркас виконується за допомогою арматурних анкерів довжиною 1,5 м та фіксується натяжними тросами діаметром не менше 8 мм (рис. 8).

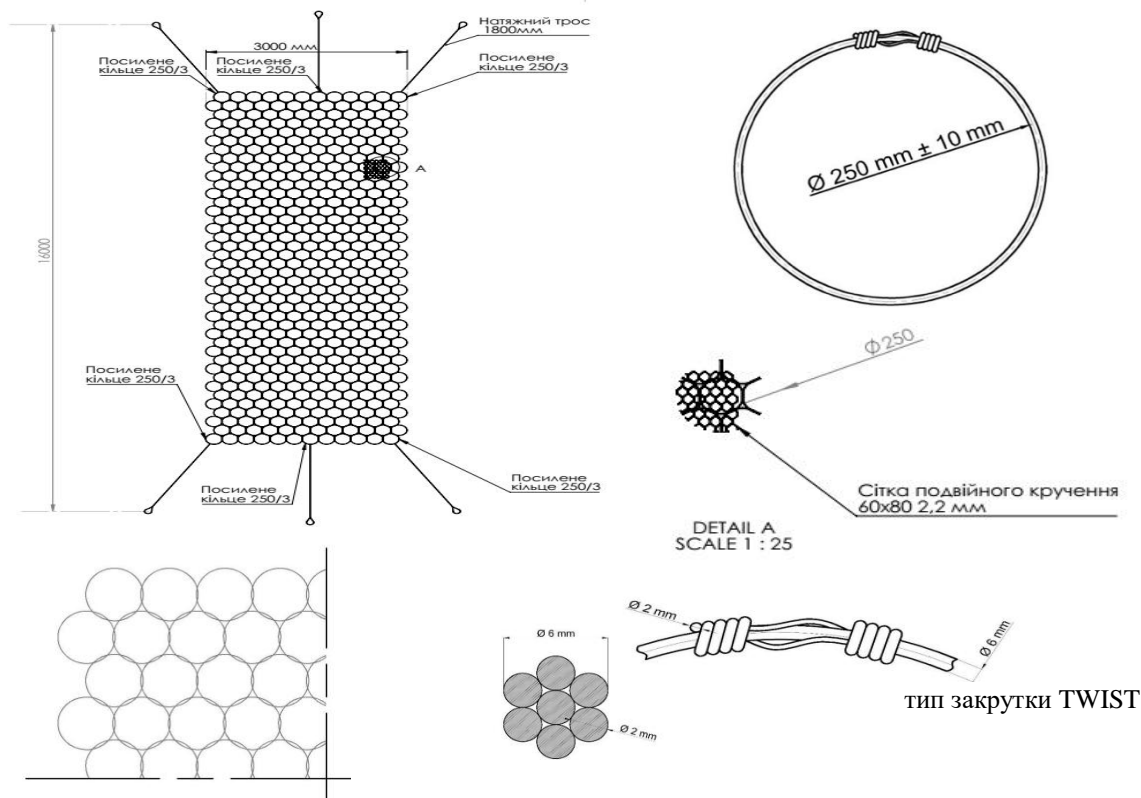


Рис. 8. Типові схеми фрагментів улаштування сітчастого ПЕ

ПЕ з вказаних вище двох сіток застосовано у "Захисному екрані / легкій сітці "RingGuard" [22], який призначено для віднесення точки контакту БпЛА противника типу "баражуючий боєприпас" моделей Ланцет-1, Ланцет-3, Куб, із ОВТ і їх захисту (бойові броньовані машини, радіолокаційні станції, самохідні артилерійські та причепні гармати), а також для захисту військових споруд, пунктів управління, складів, баз зберігання, споруд та об'єктів критичної інфраструктури. Виробляється у 2 модифікаціях: Захисний екран / легка сітка

"RingGuard" без натяжного каркаса (лише антидроновий ПЕ з 2 спеціальних сіток) і Захисний екран / легка сітка "RingGuard" з натяжним каркасом (антидроновий ПЕ з 2-х спеціальних сіток та динамічний натяжний каркас). "Захисний екран / легка сітка "RingGuard" розміром 4 м х 9 м (з можливістю, за бажанням замовника, збільшення довжини з кроком 3 м) розтягується на каркасній конструкції, що встановлюється безпосередньо над зразком ОВТ або споруди на висоті не менше ніж 1,8 – 2 м (рис. 9 і рис. 10).



а



б

Рис. 9. Приклад системи укриття ОБТ із сіток та жорстких стержневих опор – металевих (а), та дерев'яних (б) в процесі улаштування

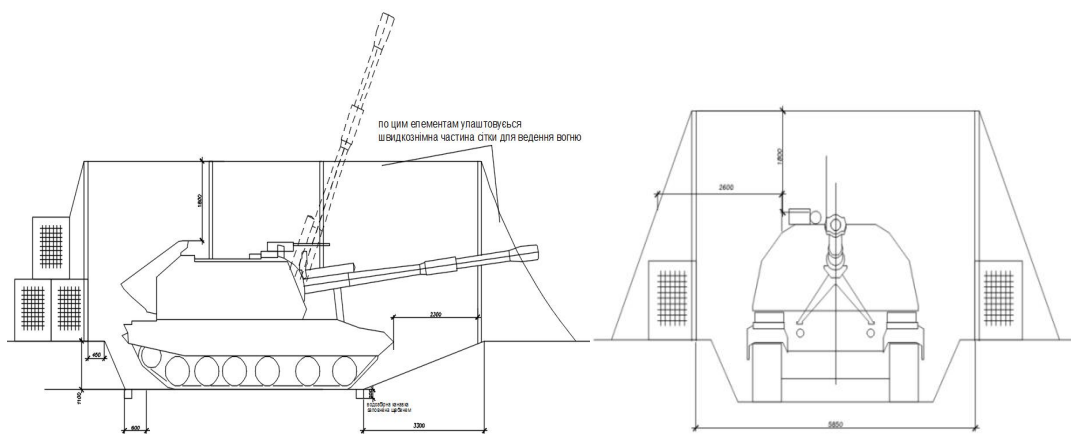


Рис. 10. Приклад системи укриття САУ із захисним ПЕ із сітчастого екрана та жорстких стержневих опор із використанням габіонів та заглибленням

Оскільки сітчасті ПЕ відносяться до висячих гнучких конструкцій, а забезпечення значного попереднього натягу в польових умовах не уявляється можливим, слід враховувати стрілку вигину укриттів під власною вагою. Сітчасті ПЕ утворюють доволі складну систему із кілець, тому для встановлення теоретичної стрілки їх вигину мають застосовуватися спеціалізовані розрахункові комплекси. У цьому дослідженні було застосовано програму на основі методу скінченних елементів SCAD. Досліджувався стандартний розмір рівнопролітної сітки 5*5 м, що кріпиться по контуру до несучих тросів (див. вище). Статичні розрахунки стрілки провисання під власною вагою показали величину до 0,5 м, що досить добре узгоджується із візуальними натурними спостереженнями (рис. 11).

Таким чином, до безпечної віддалі при улаштуванні гнучких ПЕ слід враховувати мінімальну безпечну відстань від ОБТ до заряду з точки зору дії кумулятивного струменя – 1,6 м та слід додавати величину провисання біля 0,5 м, а отже сам ПЕ над ОБТ має стояти на висоті **не менше 1,8 - 2,0 м**, враховуючи висоту провисання ПЕ. Проведені польові

випробування ПЕ та апробація у бойових умовах виробу також засвідчили успішну зупинку БпЛА «Ланцет-3» та їх підрив на ПЕ.

Висновки

У статті показано класифікацію та ефективність застосування систем інженерного захисту, в тому числі із застосуванням ПЕ проти БпЛА типу «Ланцет» противника та розраховано їх основні параметри. Зменшені варіанти БпЛА-камікадзе на базі Ланцет, типу Скальпель (Виріб 53) поступаються своїми характеристиками оригіналу, тому окремого розгляду не потребують.

Важливо ще раз відмітити, що самі по собі сітчасті та решітчасті ПЕ не забезпечують повного захисту від БпЛА типу «Ланцет» або в принципі від будь-яких БпЛА-камікадзе чи типу «баражуючий боеприпас», вони тільки здатні створити безпечну віддаль від ОБТ до можливої точки вибуху БЧ, а також підвищують шанс на викривлення траєкторії і не спрацювання БЧ БпЛА при зіткненні із ПЕ.

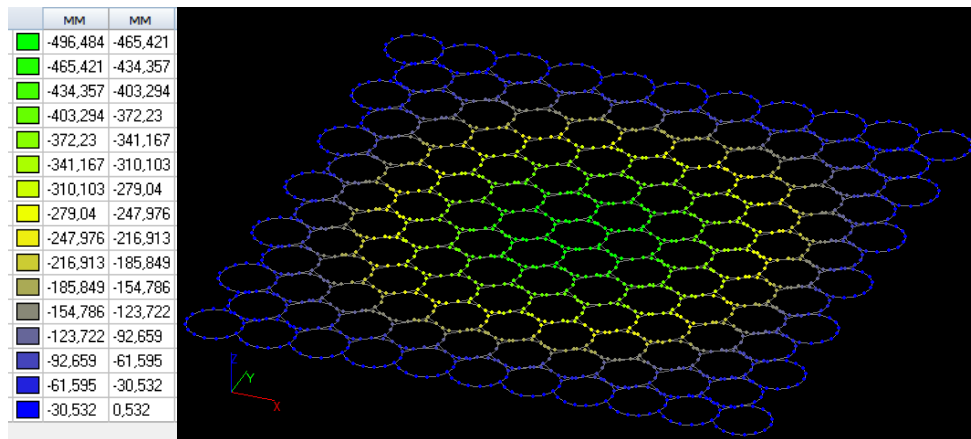


Рис. 11. Максимальне провисання сітчастого ПЕ, встановлене на основі розрахунків у скінченно-елементному комплексі SCAD

Водночас системи машинного зору для виявлення та автоматизованого донаведення, застосовувані у БПЛА рф, становлять новий виклик сьогодення, зумовлюють вимоги щодо відсутності в інженерному захисті ОБТ просвітів, у які може пролетіти БПЛА, необхідність робити відсувні штори тощо. Мобільні системи захисту із застосуванням сітчастих і решітчастих ПЕ повинні мати посилене бронювання із протикумулятивним захистом, оскільки відстані, на яких їх можливо улаштувати, регламентуються збереженням розумних габаритів, маневреності та інших основних тактико-технічних характеристик ОБТ, і менші за розрахункові безпечні відстані, що становить тематику окремих досліджень.

Список літератури

1. Білик А.С. Коцюруба В.І. Концепція національної безпеки України "Країна-фортеця" в ракурсі захисту критичної інфраструктури. *Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції*, Тези доповідей, 2023. С.16-17.
2. Коваль М.В., Коваль В.В., Коцюруба В.І., Білик А.С. Організаційно-технічні засади побудови системи інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі України. *Наука і оборона*, 2023. С.11-16.
3. Коцюруба В.І., Білик А.С. та ін. Методика розрахунків та обґрунтування вимог до інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури від БПЛА типу баражуючий боеприпаси. *Опір матеріалів і теорія споруд/Strength of Materials and Theory of Structures*. 2022. № 109. С.164-183
4. Коваль М.В., Коваль В.В., Білик А.С., Коцюруба В.І., Кубраков О.М. Основи інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі України від засобів повітряного нападу противника : монографія; під ред. А.С.Білика. К.: ГШ ЗСУ, 2023. 185 с.
5. Керівництво з застосування інженерних боеприпасів у Міністерстві оборони України та Збройних Силах України, Затверджено Наказом Міністра оборони України від 27.12.2010 № 700.

6. "Ланцет" навчився знищувати захищені сітками цілі, URL: <https://mil.in.ua/uk/news/lantset-navchyvsya-znyshhuvaty-zahyshheni-sitkamy-tsili/>
7. Ланцет: застосування та протидія, URL: <https://mil.in.ua/uk/articles/lantset-1/>
8. Як "Ланцети" нищать дефіцитну техніку ЗСУ і чому важко протидіяти російським ударним дронам, URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/articles/czqng2gq221o>
9. Як захиститися від російського безпілотної «Ланцет», URL: <https://i-vin.info/news/yak-zahistititsya-vid-rosiyskogo-bezpilotnika-lancet-5408.html>
10. Giorgio Ferrari The "Hows" Amd "Whys" Of Armour Penetration. *Military Technology*, 1988, No 10, p. 81-82, 85, 86, 90-94, 96.
11. HESCO Construction Guide v2 LR.
12. UFC 4-023-07 Design to resist direct fire weapons effects. U.S. Army Corps Of Engineers, 2007. 74 p.
13. Francis Brown. Breaking Drone Defenses: Using Chicken Wire to Defeat Net Projectile-Based Products. URL: <https://bishopfox.com/blog/breaking-drone-defenses>
14. Kingery-Bulmash Blast Parameter Calculator, URL: <https://unsafeguard.org/un-safeguard/kingery-bulmash>
15. Chunlan Xia, Zhiyong Zhang et al. Study on Numerical Model and Dynamic Response of Ring Net in Flexible Rockfall Barriers. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/8/4406>
16. Wen H.M. Predicting The Penetration And Perforation Of Targets Struck By Projectiles At Normal Incidence. *Mechanics of Structures and Machines*. Vol 30, No 4, URL: <https://doi.org/10.1081/SME-120015076>
17. Бирбраер А. Н., Роледер А. Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 594 с.
18. Долбенкин И. Н. и др. Взрывчатые вещества промышленного изготовления: общие характеристики и способы применения: уч.-практ. пособие. Домодедово: ВИПК МВД России, 2015. 79 с.
19. Наставление для инженерных войск ПФ-43. Ч.2. 1946. 363 с.
20. Технічний лист: КІЛЬЦЕВА СІТКА 2/250 ТИП 6 ТОЧОК КОНТАКТУ Дріт Ø2.0 Zn кл. А – кільце Ø250 – 6in1 / LEONOVA r.a.2.0-250r_6in1_Zn Rev.0

21. Сертифікат випробувань № 12145/83 від 24.05.2007. Університет м. Тренто (Італія); кафедра машинобудування (лабораторія випробувань матеріалів та конструкцій).

22. Найменування предмета постачання, присвоєно розробником (виробником): Захисний екран / легка сітка "RingGuard" з натяжним каркасом. ТУ У 25.9-43699505-001:2023; Номенклатурний номер НАТО 1375-61-017-8668; Найменування виробника, постачальника код NCAGE ТОВ "ЛЕОНОВА" (АЗУП).

References

1. Bilyk A.S. and Kotsyruba V.I. (2023), "Kontseptsiya natsional'noyi bezpeky Ukrainy "Krayina-fortetsya" v rakursi zakhystu krytychnoyi infrastruktury" [Concept of national security of Ukraine "Fortress country" from the perspective of critical infrastructure protection]. *Buildings and structures of special purpose: modern materials and structures*, Abstracts of reports. p.16-17. [in Ukrainian].

2. Koval M.V., Koval V.V., Kotsyruba V.I. and Bilyk A.S. (2023), "Orhanizatsiyno-tekhnichni zasady pobudovy systemy inzhenerenoho zakhystu ob'yektiv krytychnoyi infrastruktury enerhetychnoyi haluzi Ukrainy" [Organizational and technical principles of building a system of engineering protection of objects of critical infrastructure of the energy industry of Ukraine]. *Science and Defense*. p. 11-16. [in Ukrainian].

3. Kotsyruba V.I., Bilyk A.S. and etc. (2022), "Metodyka rozrakhunkiv ta obgruntuvannya vymoh do inzhenerenoho zakhystu ob'yektiv krytychnoyi infrastruktury vid BpLA typu barazhuyuchyy boyeprypaz" [Methodology of calculations and substantiation of requirements for engineering protection of critical infrastructure facilities against UAVs of the barrage type]. *Resistance of materials and theory of structures/ Strength of Materials and Theory of Structures*. № 109. p.164-183. [in Ukrainian].

4. Koval M.V., Koval V.V., Bilyk A.S., Kotsyruba V.I. and Kubrakov O.M. (2023), "Osnovy inzhenerenoho zakhystu ob'yektiv krytychnoyi infrastruktury enerhetychnoyi haluzi Ukrainy vid zasobiv povitryanoho napadu protyvyuka: monohrafiya" [Fundamentals of engineering protection of objects of critical infrastructure of the energy industry of Ukraine against enemy air attack means : monograph; under the editorship Bilyk A.S.]. K.: GS ZSU. 185 p. [in Ukrainian].

5. (2010), "Kerivnyctvo z zastosuvannya inzhenernykh boyeprypaziv u Ministerstvi Oborony Ukrainy ta Zbroinykh Sylah Ukrainy" [Guidelines for the use of engineering ammunition in the Ministry of Defense of Ukraine and the Armed Forces of Ukraine]. Approved by the Order of the Minister of Defense of Ukraine from 27.12.2010. № 700. [in Ukrainian].

6. "Lancet navchyvsia znyschuvaty zahyshchени sitkamy cili" ["Lancet" learned to destroy targets protected by nets], URL: <https://mil.in.ua/uk/news/lantset-navchyvsia-znyshchuvaty-zahyshchени-sitkamy-tsili/> [in Ukrainian].

7. "Lancet: zastosuvannya ta proyudiiia" [Lancet: use and contraindications.] URL: <https://mil.in.ua/uk/articles/lantset-1/> [in Ukrainian].

8. "Yak "Lantsy" nyschat' defitsytnu tekhniku ZSU i chomu vazhko protydyaty rosiys'kym udarnym dronom" [How "Lancets" destroy the scarce equipment of the Armed Forces and why it is difficult to counter Russian attack drones], URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/articles/czqng2gq221o> [in Ukrainian].

9. "Yak zakhystytysya vid rosiys'koho bezpilotnyka «Lantsy»" [How to protect yourself from the Russian Lancet drone] URL: <https://i-vin.info/news/yak-zahistytysya-vid-rosiyskogo-bezpilotnyka-lancet-5408.html> [in Ukrainian].

10. (1988), Giorgio Ferrari The "Hows" And "Whys" Of Armour Penetration. *Military Technology*. No 10, pp. 81-82, 85, 86, 90-94, 96.

11. HESCO Construction Guide v2 LR.

12. (2007), UFC 4-023-07 Design to resist direct fire weapons effects. U.S. Army Corps Of Engineers. 74 p.

13. Francis Brown. Breaking Drone Defenses: Using Chicken Wire to Defeat Net Projectile-Based Products. URL: <https://bishopfox.com/blog/breaking-drone-defenses>

14. Kingery-Bulmash Blast Parameter Calculator, URL: <https://unsafeguard.org/un-safeguard/kingery-bulmash>

15. Chunlan Xia, Zhiyong Zhang and etc. Study on Numerical Model and Dynamic Response of Ring Net in Flexible Rockfall Barriers. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/8/4406>

16. Wen H. M. Predicting The Penetration And Perforation Of Targets Struck By Projectiles At Normal Incidence. *Mechanics of Structures and Machines: Vol 30*, No 4, URL: <https://doi.org/10.1081/SME-120015076>

17. Birbraer A. N. and Roleder A. Yu. (2009), "Ekstremal'nyye vozdeystviya na sooruzheniya" [Extreme effects on structures]. St. Petersburg : Polytechnic Publishing House. University, 594 p. [in Russian].

18. Dolbenkin I.N. and etc. (2015), "Vzryvchatyye veshchestva promyshlennogo izgotovleniya: obshchiye kharakteristiki i sposoby primeneniya: uch.-prakt. posobiye" [Explosive substances of industrial manufacture: general characteristics and methods of application: academic and practical : manual]. Domodedovo: VYPC of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 79 c. [in Russian].

19. (1946), "Nastavleniye dlya inzhenernykh voysk PF-43 CH.2" [Instructions for engineering troops PF-43. Part 2. 363 c. [in Russian].

20. "Technichniy lyst: Kilceva sitka" [Technical sheet: RING NET 2/250 TYPE 6 CONTACT POINTS Wire Ø2.0 Zn cl. A – ring Ø250 – 6in1 /LEONOVA r.a.2.0-250r_6in1_Zn Rev.0 [in Ukrainian].

21. (2007), Test certificate № 12145/83 from 24.05.2007 / University of Trento (Italy); Department of mechanical engineering (laboratory of testing materials and structures).

22. (2023), "Zahysnyi ekran / legka sitka "RingGuard" z natiazhnym karkasom" [Name of the supply item assigned by the developer (manufacturer): Protection screen / lightweight net "RingGuard" with a tension frame. Technical condition numbers TY У 25.9-43699505-001:2023; NATO nomenclature number 1375-61-017-8668; Name of the manufacturer, supplier NCAGE code Leonova LLC (АЗУП)]. [in Ukrainian].

THREAT FACTORS FROM LANCET-TYPE ADVERSARY UAVs AND MEANS OF ENGINEERING PROTECTION AGAINST THEM, INCLUDING THE USE OF PRE-DETONATION SCREENS

A. Bilyk, Y. Kashuba

The article analyzes the known parameters of the Russian Lancet-type unmanned aerial vehicles and the threats they pose to military equipment and facilities. Formulas and calculation parameters of damage factors are presented. The mechanisms of destruction of protective materials under the action of these factors were analyzed. It is shown that the main safety during the

detonation of the warhead is provided by the cumulative jet. Calculations of engineering defense systems to increase the survivability of military equipment and structures were carried out. It has been proven that shelters should have both pre-detonation screens and an internal protective shell to neutralize all damage factors. Calculated distances at which the cumulative jet does not pose a significant danger and the combat part of unmanned aerial vehicles can be considered as high-explosive fragmentation. The proposed classification of the engineering protection system to increase the survivability of military equipment and structures, by categories, material and degree of protection. The main requirements that protective pre-detonation screens must meet are formulated. Examples of effective options for the arrangement of protective pre-detonation screens are considered, in particular, based on circular weaving nets. The strength of such products has been confirmed by numerical simulations in software complexes based on the finite element method, as well as by full-scale experiments conducted abroad. It was noted that mesh and lattice pre-detonation screens by themselves do not provide full protection, they are only able to create a safe distance from the anti-aircraft missile to the possible point of explosion of the combat part of the unmanned aerial vehicle, and also increase the chance of its trajectory being distorted and the detonator not detonating when it collides with the screen.

Keywords: engineering protection, UAV, Lancet, "Fortress country", pre-detonation screens, metal structures, nets, fortification, protective structures.

УДК: 623.454.52

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.31.2024.82-91>

О.П. Клімов¹, О.В. Ісаков¹, А.С. Пашуба¹, О.М. Купріненко²

¹Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків

²Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

Article history: Received 13 September 2024; Revised 31 October 2024; Accepted 04 November 2024

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У БУЛЬБАШЦІ ЯК ЕЛЕМЕНТА МАСКУВАЛЬНОЇ ЗАВИСИ

Чисельно досліджено рух бульбашки у потоці повітря з протіканням процесу теплообміну між повітрям, оболонкою бульбашки та підігрітим повітрям всередині бульбашки. Математичне моделювання проведено в програмному продукті Ansys Fluent. Приймалось, що нагнітання бульбашки відбувається у потік повітря, який має середню швидкість 3 м/с, а середня температура повітря складає 293 К. Розрахунок здійснювався для діаметрів бульбашок, що мають значення 3 мм та 5 мм. Товщина оболонки бульбашки, в середньому значенні дорівнювала 1 мкм. Приймалось, що в момент нагнітання бульбашки у потік повітря початкова температура підігрітого повітря, яким наповнена бульбашка, перевищує температуру навколишнього повітря у першому варіанті на 10 К та у другому варіанті на 30 К. Розраховано поле швидкості потоку повітря, що виникає всередині бульбашки під час її зовнішнього обтікання потоком зі швидкістю 3 м/с та коли зовнішнє повітря є нерухомим. Розраховано температуру поверхні бульбашки та поле векторів швидкості повітря. На підставі аналізу результатів моделювання визначено, що досягнення летючості бульбашки за рахунок підігрівання газу не є доцільним через короткий час охолодження повітря, який у розрахункових варіантах не перевищував 250 мс. Тому в статті визначено найбільш ефективний метод досягнення летючості бульбашки. Робимо загальний висновок, що наповнення газом з густиною є меншою густини повітря за однакових термодинамічних умов. Відмічені процеси мають увійти в основу механізму, який забезпечить високе значення тактичних маскувальних показників бронетанкового озброєння. Вказана функція має максимальну реалізацію в умовах застосування противником приладів нічного бачення. Зазначений напрям має здійснювати постійні кроки розвитку, що є протидією розвідувальним завданням противника. Матеріальна частина дослідження (газ та рідина) є вивчатись у взаємодії та підлягати експериментальному дослідженню. Цей напрям дослідження передбачає досягнення максимального ефекту в рамках протидії розвідувальним діям противника.

Ключові слова: аерозольне маскування, бульбашкова завеса, теплофізичні процеси, математичне моделювання, значення температурних показників (за градусом Кельвіна), потік повітря, тактичні маскувальні показники, розвідувальні ознаки.

Постановка проблеми

Розвиток збройних сил провідних країн світу та практика їх застосування в останніх воєнних