

УДК 358.211

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКЦІЙ ПОКРИТТЯ ЗАКРИТИХ ПОЛЬОВИХ ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ ВІЙСЬК У СУЧАСНОМУ ЗБРОЙНОМУ КОНФЛІКТІ

**О.І. Волощенко<sup>1</sup>,**

канд. військ. наук, пров. наук. співробітник науково-дослідного відділу (проблем інженерного забезпечення)

**М.Г. Кушніренко<sup>2</sup>,**

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри будівельної механіки

**І.В. Черних<sup>3</sup>,**

кандидат військових наук, доцент, заступник начальника інституту забезпечення військ (сил) та інформаційних технологій

<sup>1</sup> *Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України*<sup>2</sup> *Київський національний університет будівництва і архітектури*<sup>3</sup> *Національний університет оборони України імені Івана Черняховського*

DOI: 10.32347/2410-2547.2021.106.282-295

У статті вирішується завдання щодо удосконалення методики розрахунку конструкцій покриття закритих фортифікаційних споруд на проникнення, пробивання, рикошет та фугасну дію з метою підвищення живучості військ у сучасному збройному конфлікті.

Аналіз антитерористичної операції 2014-2018 років та операції Об'єднаних сил, яка триває, свідчить, що наразі основними засобами вогневого ураження противника є артилерійські, мінометних та авіаційних боєприпаси великої руйнівної дії. За таких умов живучість наших військ напряму залежить від ефективного їх укриття у закритих фортифікаційних спорудах. Важливим елементом улаштування таких фортифікаційних споруд є розрахунки конструкцій їх покриття на проникнення, пробивання, рикошет та фугасну дію, які виконуються з метою визначення конструкції покриття, його матеріалу та товщини.

Новизна удосконаленої методики полягає у тому, що в ній, на відміну від існуючих, розрахунки конструкцій покриття враховують форму бойової частини артилерійських, мінометних та авіаційних боєприпасів, кут зустрічі та кінцеву швидкість цих боєприпасів у момент їх влучення у покриття закритої фортифікаційної споруди, а також коефіцієнти податливості матеріалу, з якого це покриття улаштовано.

Наведені приклади розрахунку конструкцій покриття закритих фортифікаційних споруд з проникнення бойової частини засобу ураження у матеріал покриття, пробивання покриття, улаштованого з крихкого матеріалу, рикошету бойової частини засобу ураження від покриття, а також руйнування покриття внаслідок фугасної дії засобу ураження.

Отримані результати будуть використані для розрахунку захисних конструкцій довготривалих фортифікаційних споруд для пунктів управління та шпиталів.

**Ключові слова:** пробивання, проникнення, рикошет, фортифікаційна споруда.

### Вступ

Аналіз сучасних збройних конфліктів, зокрема антитерористичної операції (АТО) 2014-2018 років та операції Об'єднаних сил (ООС), яка триває на сході України, свідчить, що наразі основними засобами

вогневого ураження є артилерійські системи, міномети та авіаційні боєприпаси великої руйнівної дії [1]. За таких умов живучість наших військ в ООС під час вогневого впливу противника напряму залежить від ефективного укриття особового складу, озброєння і військової техніки (ОВТ) та запасів матеріальних засобів (МТЗ) у закритих польових фортифікаційних спорудах.

На відміну від відкритих польових фортифікаційних споруд (окопів, траншей, ходів сполучення тощо) закриті польові фортифікаційні споруди додатково захищають особовий склад, ОВТ та МТЗ від нависного вогню. Для цього вони мають покриття, яке захищає особовий склад, ОВТ та запаси МТЗ від вражаючих елементів бойових частин артилерійських снарядів, мінометних мін та авіаційних бомб (далі – засобів ураження) з повітря [2]-[4].

Наразі конструкції покриття більшості закритих польових фортифікаційних споруд наших військ є монолітними (з бетону, залізобетону або металу) та багат шаровим (з деревини, ґрунту, піску, металу), які сприймають на себе основну ударну та фугасну дію засобів ураження противника [1]-[4].

Під час фортифікаційного обладнання позицій наших військ обов'язковим елементом роботи є розрахунки з визначення глибини проникнення бойової частини у матеріал покриття закритих польових фортифікаційних споруд, пробивання покриття, улаштованого з крихких матеріалів, рикошету бойової частини від покриття, а також його руйнування внаслідок фугасної дії засобів ураження противника. Ці розрахунки виконуються з метою визначення характеру та термінів фортифікаційного обладнання з метою забезпечення потрібного рівня живучості військ під час бойових дій. За результатами цих розрахунків визначається потрібний обсяг фортифікаційних робіт, зокрема потреба у матеріалах для покриття – ґрунті, піску, дерева, хвильової сталі, бетону, фортифікаційного залізобетону тощо.

Розрахунки конструкцій покриття закритих польових фортифікаційних споруд беруть свій початок у працях з польової та довготривалої фортифікації відомих вчених-фортифікаторів: А.З. Теляковського; А.А. Тотлебена; Р.І. Кондратенка; Д.М. Карбишева та інших [4]. За результатами цих праць отримана методика розрахунку конструкцій польових фортифікаційних споруд, в основу якої покладено формулу визначення глибини проникнення бойової частини засобу ураження у матеріал покриття ( $h_{np}$ ), що враховує його вагу ( $P$ ), калібр ( $d$ ) та кінцеву швидкість польоту у момент зустрічі з покриттям ( $V$ ) [2]:

$$h_{np} = \frac{P}{d^2} \cdot V. \quad (1)$$

Якщо величини ( $P$ ) та ( $d$ ) є відомими, кінцева швидкість польоту бойової частини у момент її зустрічі з покриттям визначалась так [2]:

$$V = \sqrt{20H - H/100}, \quad (2)$$

де  $H$  – висота вільного падіння бойової частини засобу ураження (визначається характеристикою засобу ураження), м.

Однак, у зв'язку із стрімким зростанням ударної і фугасної дії сучасних засобів ураження противника, зазначена вище методика потребує удосконалення, так як нею не враховується ряд важливих параметрів, нехтування якими призводить до помилок у розрахунках з улаштування захисної товщі покриття, ймовірності його пробивання або руйнування, і, як результат, до загибелі особового складу, ураження ОВТ та знищення запасів МТЗ.

У статті вирішується завдання щодо удосконалення методики розрахунку конструкцій покриття закритих польових фортифікаційних споруд для забезпечення живучості військ у сучасному збройному конфлікті.

Удосконалення методики полягає у врахуванні форми бойової частини сучасних засобів вогневого ураження, їх кутів зустрічі та кінцевої швидкості під час попадання у покриття фортифікаційної споруди, а також коефіцієнтів податливості матеріалів покриття на проникнення та пробивання.

Наведені приклади розрахунку покриття закритих польових фортифікаційних споруд на проникнення, пробивання, рикошет та фугасну дію. Отримані результати будуть використані для розрахунку конструкцій покриття довготривалих фортифікаційних споруд для пунктів управління та польових шпиталів.

Розрахунок конструкцій покриття закритих польових фортифікаційних споруд на проникнення, пробивання, рикошет та фугасну дію виконуються згідно удосконаленої методики, структурно-логічна схема якої наведена на рисунку 1.

Розглянемо послідовність розрахунків детальніше.

### **Визначення глибини проникнення бойової частини засобу ураження у покриття закритої польової фортифікаційної споруди**

Коли бойова частина влучає у покриття фортифікаційної споруди, вона проникає у його матеріал на певну глибину та витративши енергію на подолання спротиву цього матеріалу, зупиняється. У фортифікації це явище називають проникненням [2]-[4].

Глибина проникнення бойової частини у матеріал покриття з урахуванням її форми, податливості матеріалу покриття на проникнення або пробивання, а також кута зустрічі бойової частини з покриттям та його кінцевої швидкості визначається за такою формулою:

$$h_{np} = \lambda \cdot k_{np} \cdot \frac{P}{d^2} \cdot V \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

де  $h_{np}$  – глибина проникнення бойової частини у матеріал покриття, яка вимірюється перпендикулярно до його поверхні покриття та осі бойової частини засобу ураження, м;  $\lambda$  – коефіцієнт, який враховує форму бойової частини засобу ураження (для бетонобійних засобів ураження  $\lambda=1,3$ , для інших  $\lambda=1$ );  $k_{np}$  – коефіцієнт, який враховує податливість матеріалу покриття проникненню (табл. 1) [2];  $\alpha$  – кут зустрічі бойової частини з

покриттям;  $V$  – кінцева швидкість бойової частини під час зустрічі з покриттям.



Рис. 1

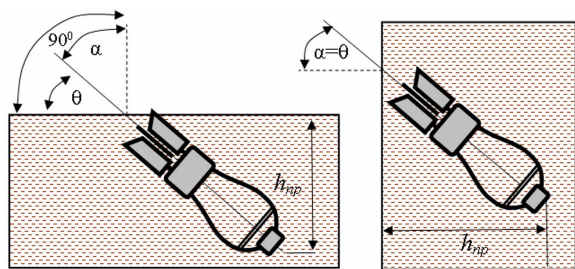
Кут зустрічі бойової частини з покриттям фортифікаційної споруди залежить від нахилу поверхні покриття і кута падіння бойової частини, тобто є кутом між горизонтальною площиною покриття і віссю бойової частини у точці їх зустрічі, як наведено на рисунку 2.

Таблиця 1

Значення коефіцієнту податливості матеріалу на проникнення

Матеріал	$k_{np}$
Свіжонасипаний рихлий ґрунт	0,0000130
Глина середньої густини, ґрунт перемішаним з камінням	0,0000070
Вологий пісок	0,0000065
Щільний рослинний ґрунт	0,0000065
Суглинок	0,0000060
Супісь	0,0000050
Дерев'яний тюфяк з соснових колод	0,0000050
Щільний пісок	0,0000045
Мерзлий ґрунт	0,0000045
Кам'янистий ґрунт	0,0000040

Булижний камінь з щільним укладенням і засипкою піском/грунтом	0,0000030
Цегляна кладка на цементному розчині	0,0000025
Кам'яна кладка на цементному розчині	0,0000020
Скала вапнякова або пісчана	0,0000020
Скала гранітна або гнейсова	0,0000016
Бутобетон	0,0000016
Бетон	0,0000010



(а) Горизонтальна площина

(б) Вертикальна площина

Рис. 2

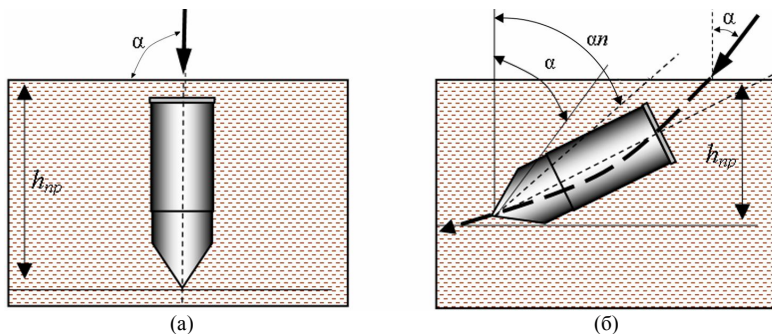
Якщо поверхня покриття горизонтальна (рис. 2(а)), сума кутів зустрічі і падіння становитиме  $90^0$

$$\alpha + \theta = 90^0, \quad (4)$$

де  $\theta$  – кут падіння.

При влученні бойової частини у вертикальну поверхню покриття (рис. 2(б)) кут зустрічі дорівнюватиме куту падіння  $\alpha = \theta$ . Експериментом доведено, що кут падіння для гаубичних снарядів становить  $50^0 - 60^0$ , для артилерійських снарядів при стрільбі прямим наведенням  $0^0$ , а для авіаційних бомб при бомбометанні з горизонтального польоту  $75^0$  [5]-[6].

Якщо бойова частина попадає у покриття закритої фортифікаційної споруди перпендикулярно, напрямок її руху у покритті не змінюється та є прямолінійним (рис. 3(а)) [5]-[6].



(а)

(б)

Рис. 3

У такому випадку кут зустрічі  $\alpha=0^0$ ,  $\cos\alpha=1$  і формула (3) матиме такий вид:

$$h_{np} = \lambda \cdot k_{np} \cdot \frac{P}{d^2} \cdot V. \quad (5)$$

Якщо бойова частина влучає у покриття під деяким кутом зустрічі  $\alpha$ , тоді у кінці проникнення кут між його віссю і перпендикуляром до поверхні покриття буде більшим кута зустрічі у  $n$  разів та буде рівним  $n \cdot \alpha$  (рис. 3 (б)).

Таким чином у формулу (3) замість кута зустрічі ( $\alpha$ ) потрібно підставити середнє значення полусуми цих кутів з урахуванням розвороту бойової частини у матеріалі покриття ( $n$ ). За цієї умови формула визначення глибини проникнення бойової частини у покриття (3) матиме такий вид:

$$h_{np} = \lambda \cdot K_{np} \cdot \frac{P}{d^2} \cdot V \cdot \cos \frac{\alpha + n\alpha}{2}, \quad (6)$$

де  $n$  – коефіцієнт розвороту бойової частини засобу ураження у матеріалі покриття, величина якого за даними експерименту, для засобів ураження з довгою бойовою частиною дорівнює  $n=1,5$ , з короткою  $n=2$ , а для інших приймається  $n=1$  [2].

**Приклад.** Визначити глибину проникнення 81 мм мінометної міни у захисне покриття закритої польової фортифікаційної споруди, яке улаштовано з каменистого ґрунту товщиною 0,95 м.

*Вихідні дані.* Маса бойової частини 81 мм мінометної міни  $H=4,82$  кг; калібр  $d=0,81$  м; кінцева швидкість  $V=160$  м/с; кут падіння  $\theta=75^0$ ; коефіцієнт проникнення верхнього шару покриття  $k_{np}^A=0,0000130$ ; коефіцієнт проникнення нижнього шару покриття  $k_{np}^T=0,0000030$ . Кут зустрічі  $\alpha=40^0$ ;  $\cos\alpha=0,776$ ;  $\lambda=1$  [2].

*Розрахунок.*

$$h_{np} = \lambda \cdot k_{np} \cdot \frac{P}{d^2} \cdot V \cdot \cos \frac{\alpha + n\alpha}{2} = 1 \cdot 0,0000040 \cdot \frac{4,82}{0,81^2} \cdot 160 \cdot 0,776 \cdot \frac{40 + 2 \cdot 40}{2} = 0,22 \text{ м.}$$

**Висновок.** Глибина проникнення 81 мм мінометної міни у захисне покриття закритої польової фортифікаційної споруди, яке улаштовано з каменистого ґрунту товщиною 0,95 м становить 0,22 м. Товщина покриття у такому випадку повинна прийматися більшою на 25% (на 0,38 м) та становити не менше 1,33 м.

Під час улаштування багатшарового покриття потрібно визначати глибину проникнення бойової частини у нижній шар з урахуванням спротиву верхнього шару. Для цього потрібно визначити, яку товщину матеріалу нижнього шару замінює верхній шар та визначити цю величину з глибини проникнення у матеріал нижнього шару (рис. 4).

Під час розрахунку доцільно припустити, що відношення товщини однакових по міцності шарів покриття дорівнюватиме відношенню коефіцієнтів податливості матеріалів покриття цих шарів, тобто:

$$A/T = k_{np}^T / k_{np}^A, \quad (7)$$

де  $A$  – товщина матеріалу покриття верхнього шару;  $T$  – товщина матеріалу покриття нижнього шару;  $k_{np}^T, k_{np}^A$  – коефіцієнти податливості проникненню матеріалів верхнього та нижнього шарів (табл. 1).

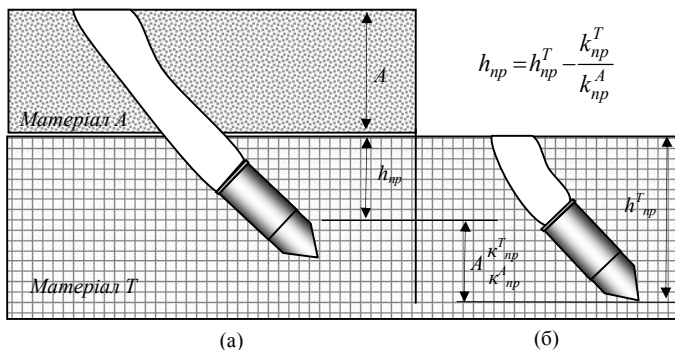


Рис. 4

З формули (7) слідує, що величина проникнення бойової частини у багатшарове покриття визначається за такою формулою:

$$h_{np} = h_{np}^T - T = h_{np}^T - A \cdot \frac{k_{np}^T}{k_{np}^A}, \quad (8)$$

де  $h_{np}^T$  – глибина проникнення бойової частини у матеріал нижнього шару.

**Приклад.** Визначити глибину проникнення фугасного 155-мм артилерійського снаряда у покриття фортифікаційної споруди, улаштованого з булижного каменю та заповненням пустот піском, обсіпаним зверху м'яким ґрунтом товщиною 0,8 м.

*Вихідні дані.* Маса бойової частини 155 мм снаряда  $P=45,4$  кг; калібр  $d=0,155$  м; кінцева швидкість  $V=310$  м/с; кут падіння  $\theta=55^\circ$ ; коефіцієнт проникнення верхнього шару покриття  $k_{np}^A=0,000013$ ; коефіцієнт проникнення нижнього шару покриття  $k_{np}^T=0,000003$ . Кут зустрічі  $\alpha=40^\circ$ ;  $\cos\alpha=0,776$ ;  $\lambda=1$  [2].

*Розв'язання.*

$$h_{np} = k_{np}^T \cdot \lambda \cdot \frac{P}{d^2} \cdot V \cdot \cos\alpha - A \cdot \frac{k_{np}^T}{k_{np}^A} = 0,000003 \cdot 1,3 \cdot \frac{45,4}{0,155^2} \cdot 310 \cdot 0,766 - 0,8 \cdot \frac{0,0000030}{0,0000130} = 0,13 \text{ м.}$$

**Висновок.** Глибина проникнення фугасного 155-мм артилерійського снаряда у покриття фортифікаційної споруди, улаштованого з булижного каменю та заповненням пустот піском, обсипаним зверху м'яким ґрунтом товщиною 0,8 м становить 0,13 м. Товщина покриття у такому випадку повинна прийматися більшою на 25% (на 0,32 м) та становити не менше 1,12 м.

Підсумовуючи слід зазначити, що в умовах сучасного загальновійськового бою, проникнення бойових частин засобів ураження у найбільш поширені покриття закритих польових фортифікаційних споруд є прямолінійним. Розраховуючи за удосконаленою методикою потрібну товщину покриття закритих польових фортифікаційних споруд результат завжди повинен перевищувати визначену товщину цього покриття щонайменше на 25%, що є цілком оправданим для забезпечення живучості військ [8], [10].

### **Визначення непробиваємої товщини покриття закритої польової фортифікаційної споруди**

Аналіз застосування закритих польових фортифікаційних споруд в АТО та ООС свідчить, що при попаданні бойової частини у бетонне, кам'яне або цегляне покриття цих споруд з проникненням, як правило, має місце відкол бетону, каменю або цегли (крихкого матеріалу) зі зворотної сторони покриття. Це явище виникає коли захисне покриття має недостатню товщину, а бойова частина високу кінцеву швидкість [4]. При подальшому зменшенні товщини покриття або збільшенні кінцевої швидкості бойової частини відкол буде збільшуватися до моменту пробиття покриття та проходження бойової частини через вітколну воронку у фортифікаційну споруду (рис. 5(г)).

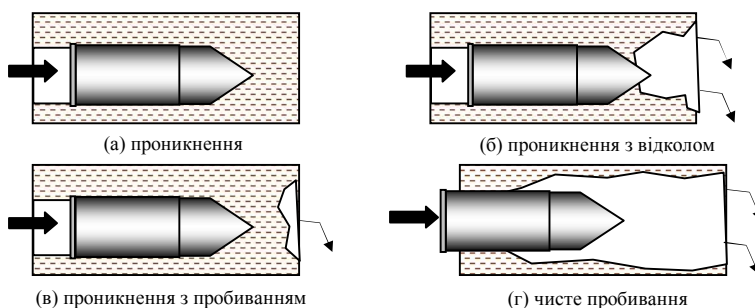


Рис. 5

Таким чином, з урахуванням (5), непробиваєма товщина покриття закритих польових фортифікаційних споруд визначатиметься по такій формулі:

$$h_{нб} = n \cdot h_{np}, \quad (9)$$

де  $n$  – коефіцієнт пробивання матеріалів (табл.2) [2].



Таблиця 2

Значення коефіцієнту пробивання матеріалів

Матеріал	$n$
Ґрунт	1,5
Дерево	1,3
Залізобетон з гнучким протівідкольным армуванням	1,7
Залізобетон з жорстким протівідкольным армуванням	1,5
Залізобетонна плита на ґрунті (з монолітного або збірного залізобетону)	1,25
Тюфяк з бетону або кам'яної кладки	1,4

**Приклад.** Визначити непробиваєму товщину залізобетонного покриття з гнучким протівідкольным армуванням закритої польової фортифікаційної споруди при попаданні у неї 155-мм артилерійського бетонобійного снаряда.

*Вихідні дані.* Маса бойової частини 155-мм снаряда  $P=43,5$  кг; калібр  $d=0,155$  м; кінцева швидкість  $V=310$  м/с; кут падіння  $\theta=55^0$ ; кут зустрічі  $\alpha=40^0$ ;  $\cos\alpha=0,776$ ;  $\lambda=1,3$  [2].

*Розв'язання.*

$$h_{нб} = n \cdot h_{нр} = n \cdot \lambda \cdot k_{нр} \cdot \frac{P}{d^2} \cdot V \cdot \cos\alpha = 1,7 \cdot 1,3 \cdot 0,000010 \cdot \frac{43,5}{0,155^2} \cdot 310 \cdot 0,766 = 0,95 \text{ м.}$$

*Висновок.* Непробиваєма товщина залізобетонного покриття з гнучким протівідкольным армуванням закритої польової фортифікаційної споруди при попаданні у неї 155-мм артилерійського бетонобійного снаряда повинна бути не меншою 0,95 м.

### **Визначення глибини проникнення бойової частини засобу ураження у покриття закритої польової фортифікаційної споруди під час рикошету**

Коли бойова частина попадає у покриття закритої польової фортифікаційної споруди під гострим кутом зустрічі вона може зробити вм'ятину на поверхні покриття, заглибитись у матеріал покриття та вилетіти з нього, змінивши напрямок та траєкторію свого польоту. Таке явище у фортифікації називають рикошетом [5], [6].

Рикошет тим ймовірніший, чим твердіша поверхня покриття і чим більше кут зустрічі. Експериментом встановлено, що сучасні бойові частини рикошетують, якщо кути їх зустрічі з покриттям фортифікаційних споруд будуть не меншими:  $75^0$  – для м'яких і середніх ґрунтів;  $70^0$  – для твердих ґрунтів;  $60^0$  – для каменю й цегли;  $45^0$  – для бетону, залізобетону й броні.

З урахуванням зазначеного формула (6) для визначення глибини проникнення бойової частини засобу ураження у покриття закритої польової фортифікаційної споруди під час рикошету матиме такий вид

для покриття з м'яких ґрунтів ( $h_{np}^{mz}$ ), твердих ґрунтів ( $h_{np}^{mz}$ ), каменю ( $h_{np}^k$ ) та бетону ( $h_{np}^b$ ) відповідно:

$$\begin{aligned} h_{np}^{mz} &= \lambda \cdot k_{np}^{mz} \cdot \frac{P}{d^2} \cdot V \cdot \cos \frac{0,75\alpha + n \cdot 0,75\alpha}{2}; h_{np}^{mz} = \lambda \cdot k_{np}^{mz} \cdot \frac{P}{d^2} \cdot V \cdot \cos \frac{0,7\alpha + n \cdot 0,7\alpha}{2}; \\ h_{np}^k &= \lambda \cdot k_{np}^k \cdot \frac{P}{d^2} \cdot V \cdot \cos \frac{0,6\alpha + n \cdot 0,6\alpha}{2}; h_{np}^b = \lambda \cdot k_{np}^b \cdot \frac{P}{d^2} \cdot V \cdot \cos \frac{0,45\alpha + n \cdot 0,45\alpha}{2}. \end{aligned} \quad (10)$$

### Визначення радіус руйнування закритої польової фортифікаційної споруди у результаті фугасної дії засобу ураження

Для розрахунку потрібної товщини покриття закритої польової фортифікаційної споруди потрібно визначити не тільки ударну дію бойової частини, а й розміри руйнувань у результаті його фугасної дії.

Так, під час вибуху бойової частини у товщі покриття частина матеріалу цього покриття дробиться та витісняється тиском газів. При цьому утворюється пустота, яку у фортифікації називають сферою стискування або сферою витіснення [2]-[4], [7]. При підриванні бойової частини на поверхні покриття виникає сфера руйнування та воронка, як показано на рисунку 6.

На деякій глибині за межами стиснення відбувається порушення щеплення між частинами матеріалу покриття. Це явище має місце у межах сфери, яка називається сферою руйнування. За межами цієї сфери матеріал покриття відчуває тільки трясіння від вибуху, однак не руйнується. Якщо матеріал покриття складається з крихкого матеріалу (бетону, залізобетону, каменю, цегли тощо), а його товщина є недостатньою, під час вибуху бойової частини відбувається відкол зі зворотної сторони покриття, частина матеріалу відпадає та утворюється відкольна воронка.

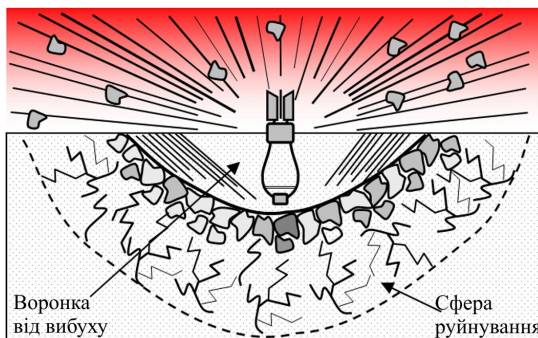


Рис. 6

Так, радіус руйнування, який вимірюється від центру бойової частини засобу ураження (підривного заряду) визначається за такою формулою:

$$r = k \sqrt[3]{C}, \quad (11)$$

де  $C$  – вага заряду, кг;  $k$  – коефіцієнт податливості матеріалу на проникнення (табл. 1).

Глибина воронки визначається за такою формулою:

$$r_{\text{вук}} = k_0 \sqrt[3]{C}, \quad (12)$$

де  $k_{\text{вук}}$  – коефіцієнт проникнення матеріалу покриття на викид (табл. 3).

Радіус сфери руйнування визначається за такою формулою:

$$r_p = k_p \sqrt[3]{C}, \quad (13)$$

де  $k_p$  – коефіцієнт проникнення матеріалу покриття на руйнування (табл. 3).

Радіус відколу визначається за такою формулою:

$$r_{\text{відк}} = k_{\text{відк}} \sqrt[3]{C}, \quad (14)$$

де  $k_{\text{відк}}$  – коефіцієнт проникнення матеріалу покриття на відкол (табл. 3).

Таблиця 3

Значення коефіцієнту проникнення на викид, руйнування та відкол

Матеріал	$k_{\text{вук}}$	$k_p$	$k_{\text{відк}}$
Свіжонасипаний рихлий ґрунт	0,63	0,85	-
Рослинний ґрунт	0,50	0,65	-
Щільний пісок	0,48	0,63	-
Супісь	0,47	0,62	-
Суглинок. глина	0,46	0,60	-
Кам'янистий ґрунт	0,45	0,58	-
Скала вапнякова або піщана	0,25	0,56	0,79
Скала гранітна або гнейсова	0,20	0,53	0,75
Сосна, дуб, бук, ясен	0,30	0,36	-
Цегляна кладка на цементному розчині	0,24	0,60	0,88
Кам'яна кладка насухо	0,25	0,58	-
Кам'яна кладка на цементному розчині	0,20	0,55	0,84
Бутобетон	0,18	0,39	0,56
Залізобетон марки 400	0,13	0,30	0,42
Фортифікаційний залізобетон з гнучким противідколом	0,12	0,24	0,42
Фортифікаційний залізобетон з жорстким противідколом	0,12	0,24	0,33

## Висновки

Український досвід фортифікаційного обладнання є унікальним, адже війна, яку проти Україна розв'язала Росія, не має аналогів за інтенсивністю обстрілів передових позицій наших військ із сучасних систем вогневого ураження. Зазначене вимагає підвищення ефективності сучасних закритих польових фортифікаційних споруд, які широко використовуються нашими військами в ООС.

Використання удосконаленої методики розрахунку конструкцій покриття закритих польових фортифікаційних споруд для забезпечення живучості військ у сучасному збройному конфлікті дозволяє визначити необхідні параметри конструкцій покриття закритих польових фортифікаційних споруд та оперативно розробляти рекомендації для

військ з їх виготовлення для надійного захисту особового складу, ОВТ та запасів МТЗ від вогневого впливу противника.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Операція Об'єднаних сил / Joint Forces Operation. <https://facebook.com/pressjfo.news/>.
2. *Ананіч С.А., Кузник П.К., Сухарев А.И.* Фортификация. Москва.: Военное издательство, 1964. – 445 с.
3. Войсковые фортификационные сооружения. Москва.: Военное издательство, 1984. – 720 с.
4. *Кушніренко М.Г. Ворович Б.О, Лісневський В.В.* Будівельні матеріали, конструкції та основи механіки військово-інженерних споруд. – Київ.: НАОУ, 2000. – 67 с.
5. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии. Санкт-Петербург. Издательство «Галлея Принт», 2006. – 424 с.
6. *Малаховский Е.К.* Стрельба на поражение опорных пунктов. Москва.: Военное издательство, 1978. – 112 с.
7. *У. Бейкер, П.Кокс, П. Уэстайн, Дж. Кулеш, Р. Стрелов.* Взрывные явления. Оценка и последствия. Часть 1. Москва.: Издательство «Мир», 1986. – 319 с.
8. *Voloshchenko O.I., Chernykh I.V.* Method for determination of fortification magnitude of impact on the survivability of point military objects. Information technologies in the sphere of security and defence № 1(28) 2017. ISSN 2311-7249 (Print). ISSN 2410-7336 (Online) <http://www.sit.nuou.org.ua>.
9. *Писаренко Г.С, Агарев В.А., Квитка А.Л., Попков В.Г., Уманский Э.С.* Сопrotивление материалов. Київ. Вища школа. – 1986. С. 98–116.
10. *Vasyl Shevchenko, Oleksandr Voloshchenko, Oleksandr Bobrun.* Method of determining the magnitude of the effect of fortification equipment on the survivability of the troops (forces) control system in the operations (combat actions). Information technologies in the sphere of security and defence № 1(37) 2020. ISSN 2311-7249 (Print). ISSN 2410-7336 (Online). DOI:10.33099/2311-7249/2020-37-1-179-184. <http://www.sit.nuou.org.ua>.

#### REFERENCES

1. Joint Forces Operation. <https://facebook.com/pressjfo.news/>.
2. *S. Ananich, P. Kuznik, A. Sukharev.* Fortification. Moscow.: Military publishing house, 1964. – 445 p.
3. Military fortifications. Moscow: Military Publishing House, 1984. - 720 p.
4. *M. Kushnirenko, B. Vorovich, V. Lisnevsky.* Building materials, structures and basics of mechanics of military engineering structures. - Kyiv: NDAU, 2000. - 67 p.
5. Effectiveness evaluation of damage by missile strikes and artillery fire. St. Petersburg. “Halley Print” Publishing House, 2006. - p. 424.
6. *E. Malakhovsky.* Shooting to defeat strong points. Moscow: Military Publishing House, 1978 - p.112.
7. *W. Baker, P. Cox, P. Westine, J. Kulesh, R. Strelow.* Explosive phenomena. Assessment and consequences. Part 1. Moscow: “Mir” Publishing House, 1986. - p. 319.
8. *O. Voloshchenko, I. Chernykh.* Method for determination of fortification magnitude of impact on the survivability of point military objects. Information technologies in the sphere of security and defence № 1(28) 2017. ISSN 2311-7249 (Print). ISSN 2410-7336 (Online) <http://www.sit.nuou.org.ua>.
9. *G. Pisarenko, V. Agarev, A. Kvitka, V. Popkov, E. Umansky.* Strength of materials. Kiev. High school. - 1986. p. 98-116.
10. *V. Shevchenko, O. Voloshchenko, O. Bobrun.* Method of determining the magnitude of the effect of fortification equipment on the survivability of the troops (forces) control system in the operations (combat actions). Information technologies in the sphere of security and defence № 1(37) 2020. ISSN 2311-7249 (Print). ISSN 2410-7336 (Online). DOI:10.33099/2311-7249/2020-37-1-179-184. <http://www.sit.nuou.org.ua>.

*O. Voloshchenko, M. Kushnirenko, I. Chernykh.*

**IMPROVEMENT OF THE CALCULATION METHODOLOGY FOR COVERING CONSTRUCTIONS OF THE COVERED FIELD FORTIFICATIONS TO ENSURE THE SURVIVABILITY OF TROOPS IN A MODERN ARMED CONFLICT**

The task of improvement of the calculation methodology for covering constructions of the covered field fortifications against shell-hole, penetration, ricochet and high-explosive action is solved to ensure the survivability of troops in a modern armed conflict.

An analysis of the 2014-2018 anti-terrorist operation and the ongoing Joint Forces operation proves that artillery, mortar and aircraft high-destructive munitions are currently the main means of firing the enemy. Under such conditions, the survival of our troops directly depends on their effective shelter in covered field fortifications. An important element of the arrangement of such fortifications is the calculation of the structures of their covering against penetration, shell-holing, ricocheting and high-explosive action, which are performed to determine the structure of the covering, its material and thickness.

The novelty of the improved technique, unlike the existing ones, is that the calculations of the covering structures take into account the shape of the warhead of artillery, mortar and aircraft ammunition, the angle of encounter and the final speed of these munitions at the moment of their impact on the covered fortification and the pliability of the covering material.

Here are given the examples of calculation for the closed field fortifications structures against penetration of the warhead into the covering material, cases of punching the covering material enclosed with brittle material, ricochet of the warhead from the covering and destruction of the covering as a result of high explosive action.

The obtained results will be used to calculate the protective structures of long-term fortifications for command and control centres and field hospitals.

**Keywords:** penetration, shell-hole, ricochet, fortification.

УДК 358.211

*Волощенко О.І., Кушніренко М.Г., Черних І.В. Удосконалення методики розрахунку конструкцій покриття закритих польових фортифікаційних споруд для забезпечення живучості військ у сучасному збройному конфлікті // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К: КНУБА, 2021. – Вип. 106. – С. 282-295.*

*Вирішується задача удосконалення методики розрахунку конструкцій покриття закритих польових фортифікаційних споруд на проникнення, пробивання, рикошет і фугасної дії для забезпечення живучості військ в сучасному збройному конфлікті. Лл. 9. Бібліогр. 8 назв.*

UDC 358.211

*Voloshchenko O., Kushnirenko M., Chernykh I. Improvement of the calculation methodology for covering constructions of the covered field fortifications to ensure the survivability of troops in a modern armed conflict // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientificand-technical collected articles. – K.: KNUBA, 2021. – Issue 106. – P. 282-295.*

*The task of improvement of the calculation methodology for covering constructions of the covered field fortifications against shell-hole, penetration, ricochet and high-explosive action is solved to ensure the survivability of troops in a modern armed conflict.*

Fig. 9. Ref. 8.

**Автори**

*Кандидат військових наук, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу (проблем інженерного забезпечення) Волощенко Олександр Іванович.*

**Адреса робоча:** 03037 Україна, м. Київ, Повітрофлотський пр., 28, Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України.

**Роб. тел.** + 38(063) 3250845

**E-mail:** vaikiev63@gmail.com

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0003-2717-1283>

*Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельної механіки Кушніренко Микола Григорович.*

**Адреса робоча:** 03037 Україна, м. Київ, Повітрофлотський пр., 31, Київський національний університет будівництва і архітектури.

**Роб. тел.** + 38(044) 2415412

**E-mail:** mykkushnirenko@ukr.net

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0002-7110-2712>

*Кандидат військових наук, доцент, заступник начальника інституту забезпечення військ (сил) та інформаційних технологій Черних Ігор Вікторович.*

**Адреса робоча:** 03037 Україна, м. Київ, Повітрофлотський пр., 28, Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського.

**Роб. тел.** + 38(044) 2710983

**E-mail:** igor-chernuh@ukr.net

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0002-5144-6921>