

УДК 358.211

## ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ПОЛЬОВИХ ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД ЗАКРИТОГО ТИПУ ВІД УДАРНОЇ ХВИЛІ ЯДЕРНОГО ВИБУХУ

**В.С. Косенко<sup>1</sup>,**  
канд. військ. наук

**О.І. Волощенко<sup>1</sup>,**  
канд. військ. наук, старший дослідник

**М.Г. Кушніренко<sup>2</sup>,**  
канд. техн. наук, доцент

<sup>1</sup>Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України

<sup>2</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури

DOI: 10.32347/2410-2547.2022.109.387-402

Метою статті є оприлюднення результатів досліджень з визначення стійкості конструкцій польових фортифікаційних споруд закритого типу від ударної хвилі ядерного вибуху.

Отримавши гідну відсіч агресії, оцінивши свої втрати та можливості Збройних Сил України, Росія перейшла до прямих погроз застосування ядерної зброї.

За такого розвитку війни захист наших військ потрібно здійснювати шляхом укриття особового складу, озброєння і техніки у польових фортифікаційних спорудах закритого типу, стійкість конструкцій яких повинна бути достатньою, зокрема для протидії ударній хвилі ядерного вибуху.

Розрахунок стійкості конструкцій таких споруд від ударної хвилі ядерного вибуху пропонується виконувати за двома етапами.

На першому етапі обчислюються розрахункові навантаження ударної хвилі ядерного вибуху на основні захисні елементи фортифікаційної споруди. В основу обчислень покладено закон подібності під час вибухів, який дозволяє визначити параметри ударної хвилі на різних відстанях від епіцентру ядерного вибуху.

На другому етапі визначається фактичне напруження під час динамічних навантажень, яке виникає у результаті впливу ударної хвилі на конструкцію певної фортифікаційної споруди.

Основою обчислень на цьому етапі є визначення моменту опору елементів конструкції фортифікаційної споруди, інтенсивності навантаження, згинального моменту для рівномірно розподіленого навантаження на основні елементи конструкції та стискаючого зусилля, що передається через ці елементи.

Кожен етап обчислень ілюструється прикладами. Запропонований порядок визначення стійкості конструкцій польових фортифікаційних споруд закритого типу від ударної хвилі ядерного вибуху дозволяє вибрати матеріал потрібних розмірів для цих споруд, який забезпечить стійкість їх функціонування та потрібну живучість особового складу під час ядерного вибуху.

**Ключові слова:** розрахункові навантаження, стійкість конструкції, ударна хвиля ядерного вибуху.

### Вступ

На світанку 24 лютого 2022 року президент Росії заявив про початок так званої “спеціальної військової операції” на території України. Відразу після цього російські війська нанесли масовані ракетні удари по об’єктам інфраструктури України та вторглися на її територію. Так розпочалася повномасштабна війна Росії проти України, яку агресор планував

завершити за 2-3 дні. Однак, отримавши гідну відсіч, оцінивши свої втрати та можливості Збройних Сил України, росія перейшла до прямих погроз застосування ядерної зброї [1].

За такого розвитку війни захист наших військ потрібно здійснювати шляхом укриття особового складу, озброєння і військової техніки у польових фортифікаційних спорудах закритого типу (далі – фортифікаційних спорудах), стійкість конструкцій яких повинна бути достатньою, зокрема для протидії ударній хвилі ядерного вибуху.

Питанню стійкості конструкцій фортифікаційних споруд від впливу звичайних засобів вогневого ураження (мінометних мін, артилерійських снарядів, авіаційних бомб тощо) присвячено багато досліджень [2]-[9]. Однак, стійкість зазначених споруд від ударної хвилі ядерного вибуху вивчено недостатньо. Саме тому визначення стійкості конструкції фортифікаційних споруд від ударної хвилі ядерного вибуху є актуальним завданням від вирішення якого напряду залежатиме живучість наших військ під час бойових дій.

Аналіз свідчить, що стійкість конструкції певної фортифікаційної споруди потрібно визначати за допомогою розрахункових навантажень та фактичного напруження, які виникатимуть під час впливу на її покриття і стіни ударної хвилі ядерного вибуху [3].

Для визначення розрахункових навантажень потрібно обчислити: надлишковий тиск у фронті ударної хвилі ядерного вибуху ( $\Delta P_\phi$ ); надлишковий тиск ударної хвилі відбиття ( $\Delta P_{\text{від}}$ ); коефіцієнт відбиття ударної хвилі ( $k_{\text{від}}$ ); тиск у фронті ударної хвилі ядерного вибуху ( $P_\phi$ ); загальну товщину усіх шарів покриття фортифікаційної споруди ( $D_c$ ); еквівалентне динамічне навантаження на покриття ( $P_n^{\text{д}}$ ) і стіни ( $P_c^{\text{д}}$ ) споруди; тиск власної ваги ( $P_n^{\text{в}}$ ) та приведену товщину покриття ( $D_n$ ), а також боковий тиск ґрунту (розподільчого шару) в середині конструкції споруди ( $P_{\text{бт}}^{\text{р}}$ ).

Визначення фактичного напруження під час динамічних навантажень на конструкцію певної фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху полягає в розрахунку моменту опору елементів конструкції фортифікаційної споруди ( $W$ ), інтенсивності навантаження на один погонний сантиметр її конструкції ( $r$ ), згинального моменту для рівномірно розподіленого навантаження на елементи конструкції цієї споруди ( $M$ ), площі поперечного перерізу її елементів ( $S$ ), а також стискаючого зусилля, яке передається на конструкцію через ці елементи ( $N$ ).

Обчислені розрахункові навантаження на покриття і стіни певної фортифікаційної споруди та визначене за їх допомогою фактичне напруження в її елементах дозволить зробити висновок про стійкість конструкції цієї фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху та її відповідність існуючим вимогам щодо захисту військ від ядерної зброї.

### Визначення розрахункових навантажень на покриття і стіни фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху

Аналіз свідчить, що розрахункові навантаження на конструкцію (покриття і стіни) певної фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху залежать від потужності ядерного вибуху (тротилового еквіваленту ядерного заряду), виду ядерного вибуху (підземний, наземний, повітряний), матеріалу елементів конструкції цієї споруди, а також її розміщення на місцевості відносно епіцентру ядерного вибуху [10], [11].

Для дослідження обрано варіант нанесення удару по позиціям наших військ тактичною ядерною зброєю та укриття особового складу у сховищах безврубочної конструкції (рис. 1). Такі фортифікаційні споруди війська улаштовують на своїх позиціях з дерев'яних колод та жердин. Ці споруди призначені для захисту особового складу від вогневого впливу противника та дозволяють розмістити до 25 чоловік [3].

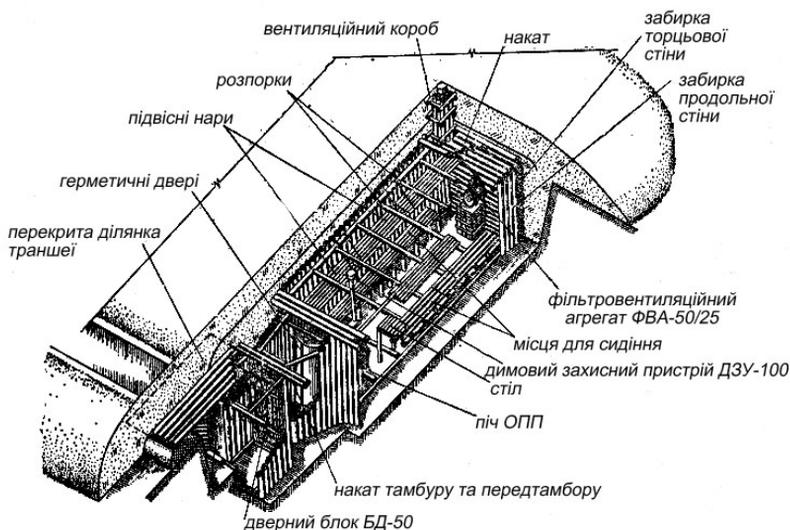


Рис. 1. Загальний вигляд сховища безврубочної конструкції

Розглянемо наземний ядерний вибух, під час якого дія ударної хвилі має найбільший вплив на фортифікаційні споруди. Наземний ядерний вибух здійснюється на поверхні землі або у повітрі на висоті  $H \leq 3,5\sqrt[3]{q}$ , де  $q$  – потужність ядерного вибуху [10], [12].

Враховуючи, що ударна хвиля це область різкого сильного стискання повітря, яка розповсюджується від епіцентру вибуху із надзвуковою швидкістю [11], для вирішення завдання потрібно розрахувати надлишковий тиск у фронті ударної хвилі ядерного вибуху ( $\Delta P_{\phi}$ ), який виникає безпосередньо біля фортифікаційної споруди. Цей тиск є

різницею між тиском ударної хвилі ядерного вибуху ( $P_\phi$ ) та атмосферним тиском ( $P_o$ ) [12].

На рис. 2 зображено зміну тиску у фіксованій точці при проходженні через неї ударної хвилі ядерного вибуху.

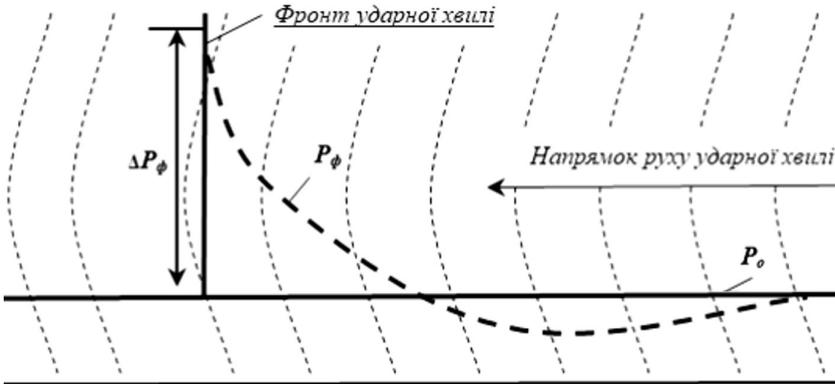


Рис. 2. Зміна тиску у фіксованій точці при проходженні через неї ударної хвилі

Під час ядерного вибуху, так само як і при звичайному, існує прямий зв'язок між потужністю вибуху і відстанню від його епіцентру, на якому спостерігається певна величина надлишкового тиску. Цей зв'язок називають законом подібності, який може бути вираженим так: під час вибуху двох ядерних зарядів, потужності яких дорівнюють  $q_1$  та  $q_2$ , однакові надлишкові тиски у фронті їх ударної хвилі  $\Delta P_\phi$  спостерігаються на різних відстанях  $L_1$  та  $L_2$  (від епіцентру 1-го та 2-го ядерних вибухів), відношення яких дорівнює кореню третього ступеню з відношення потужностей цих вибухів [10], [11]:

$$L_1/L_2 = \sqrt[3]{q_1/q_2} . \quad (1)$$

Якщо прийняти, що величина  $q_2$  є величиною відомою (табл. 1), а величини  $q_1$  та  $L_1$  заданими, закон подібності під час вибухів дозволяє визначити відстань  $L_2$  від епіцентру вибуху ядерного заряду з тротиліновим еквівалентом  $q_2$  до фортифікаційної споруди, на якій буде такий самий  $\Delta P_\phi$ , як і під час вибуху ядерного заряду з тротиліновим еквівалентом  $q_1$  на відстані  $L_1$  (рис. 3)

$$L_2 = L_1 \cdot \sqrt[3]{q_1/q_2} . \quad (2)$$

Отже, за допомогою табл. 1, знаходимо значення  $\Delta P_\phi$  на відстані  $L_2$ .

На надлишковий тиск у фронті ударної хвилі ядерного вибуху впливають також метеорологічні умови місцевості, зокрема дощ, туман

тощо. Так, за умови, коли  $\Delta P_\phi \leq 1$ , відбувається зменшення надлишкового тиску ударної хвилі орієнтовно на 10% під час середніх опадів (туманів) та орієнтовно на 20% під час сильних [10].

Таблиця 1

Значення надлишкового тиску у фронті ударної хвилі в залежності від відстані до епіцентру ядерного вибуху потужністю  $q_2 = 30$  кт [10]

| Значення $\Delta P_\phi$  | Відстань до епіцентру ядерного вибуху ( $L_2$ ), м |      |      |      |      |      |
|---|--|------|------|------|------|------|
|   | 500  | 750  | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 |
| Надлишковий тиск у фронті ударної хвилі ядерного вибуху ( $\Delta P_\phi$ ), кг/см <sup>2</sup> | 1,35   | 0,75 | 0,48 | 0,26 | 0,17 | 0,12 |

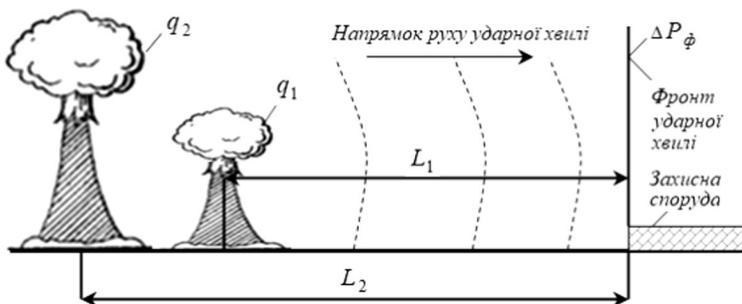


Рис. 3. Вихідні дані для визначення відстані від епіцентру ядерного вибуху до сховища (фортифікаційної споруди) за допомогою закону подібності

У результаті дії ударної хвилі на конструкцію фортифікаційної споруди (сховища) виникає ударна хвиля відбиття з таким надлишковим тиском [3]:

$$\Delta P_{\text{від}} = \frac{8 \cdot \Delta P_\phi^2 + 14 \cdot \Delta P_\phi}{\Delta P_\phi + 7}. \quad (3)$$

Надалі, за визначеними величинами  $\Delta P_\phi$  та  $\Delta P_{\text{від}}$  розраховуємо величину коефіцієнта відбиття ударної хвилі ( $k_{\text{від}}$ ), яка кількісно характеризує збільшення  $\Delta P_{\text{від}}$  у порівнянні з  $\Delta P_\phi$ :

$$k_{\text{від}} = \Delta P_{\text{від}} / \Delta P_\phi. \quad (4)$$

Наступним кроком є визначення тиску у фронті ударної хвилі, величина якого може бути розрахована так:

$$P_\phi = \Delta P_\phi \cdot k_{\text{від}} + P_o. \quad (5)$$

Після цього у (6) визначається загальна товщина усіх шарів покриття фортифікаційної споруди ( $D_c$ ), яка складається із заданої товщини обсіпки ( $D_o$ ), тюф'яку ( $D_m$ ) та розподільчого шару ( $D_{пу}$ ) (рис. 4)

$$D_c = D_o + D_m + D_{пу}. \quad (6)$$

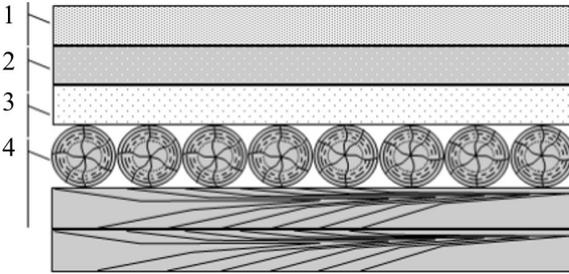


Рис. 4. Варіант шарів покриття польової фортифікаційної споруди:  
1. Обсіпка; 2. Тюф'як; 3. Розподільчий шар<sup>1</sup>;  
4. Елемент конструкції фортифікаційної споруди

Далі визначається еквівалентне динамічне навантаження на покриття фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху ( $P_n^{\partial}$ ). Це навантаження, яке умовно рівномірно розподілено по площі покриття цієї споруди та викликає у перетині елементів її конструкції зусилля, що дорівнює зусиллю дійсного навантаження на споруду. Характеризується еквівалентне динамічне навантаження швидкою зміною його величини у часі, напрямку чи точці дотику та тим, що викликає в елементах конструкції певні сили інерції [13].

Це еквівалентне динамічне навантаження може бути визначене так [3]:

$$P_n^{\partial} = (2,2 - 0,32D_c) \cdot P_{\phi}. \quad (7)$$

З використанням заданої товщини шарів покриття та середнього діаметру елементів конструкції споруди ( $d$ ), об'ємної ваги шарів покриття<sup>2</sup> (табл. 2), зокрема обсіпки ( $J_o$ ), тюф'яку ( $J_m$ ), розподільчого шару ( $J_{пу}$ ) та об'ємної ваги елементів конструкції ( $J_{нк}$ ), визначається тиск власної ваги покриття та елементів конструкції фортифікаційної споруди:

$$P_n^e = D_o \cdot J_o + D_m \cdot J_m + D_{пу} \cdot J_{пу} + d \cdot J_{нк}. \quad (8)$$

<sup>1</sup> Обсіпка це верхній шар покриття, який створюється, як правило, з рослинного ґрунту що залишається після обладнання споруди. Наступний шар покриття – тюф'як, може влаштовуватись з каміння, бутової кладки або бетону. Після нього, переважно з нижчих за рослинний шар ґрунту (пісок, глина і суглинки), влаштовується розподільчий шар споруди.

<sup>2</sup> Під об'ємною вагою мається на увазі вага одиниці об'єму обсіпки, тюф'яку, розподільчого шару та несучої конструкції фортифікаційної споруди у їх природному стані із непошкодженою структурою [3].

Таблиця 2

Об'ємна вага деяких ґрунтів і матеріалів [3]

| Найменування ґрунтів і матеріалів                        | $P_n^e$ , кг/см <sup>3</sup> |
|--|------------------------------|
| Гравій, щебінь, жирна глина, цегла на цементному розчині | 0,0018                       |
| Глина та суглинки (сухі)                                 | 0,0017                       |
| Пісок і супіски (сухі)                                   | 0,0016                       |
| Рослинний ґрунт  | 0,0012                       |
| Торф без коріння   | 0,0006                       |
| Скала  | 0,0027                       |
| Мерзлий ґрунт  | 0,0015                       |
| Пливун, цегла  | 0,0015                       |
| Бетон на гравії чи щебені                                | 0,0024                       |
| Залізобетон  | 0,0025                       |
| Цементний розчин   | 0,0019                       |
| Бугова кладка  | 0,0022                       |
| Сосна  | 0,0006                       |
| Дуб  | 0,0008                       |
| Шлак   | 0,0009                       |
| Сталь  | 0,0008                       |
| Чугун  | 0,0007                       |

Обчислені у (7) і (8) величини дозволяють визначити розрахункове навантаження на покриття фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху:

$$P_n^{poz} = P_n^d + P_n^e \quad (9)$$

Слід мати на увазі та враховувати, що внаслідок дії на ґрунт ударної хвилі ядерного вибуху виникають механічні коливання, або так звані сейсмовибухові хвилі, які здійснюють вплив не тільки на стійкість покриття фортифікаційної споруди, а і на її стіни, що потребує додаткового визначення розрахункового навантаження і на них.

Для цього, використовуючи розраховану у (9) величину, визначаємо еквівалентне динамічне навантаження на стіни фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху, яке може бути прийнято в межах 30-40% від розрахункового навантаження на покриття [3]:

$$P_c^d = 0,35 \cdot P_n^{poz} \quad (10)$$

Знайшовши еквівалентне динамічне навантаження на стіни фортифікаційної споруди можна розрахувати приведену товщину її покриття:

$$D_n = D_o + D_m \cdot \frac{J_m}{J_o + J_{pm}} + D_{pm} \quad (11)$$

Наступним кроком розрахунку є визначення величини бокового тиску ґрунту (розподільчого шару) в середині стіни фортифікаційної споруди. Ця величина може бути визначена за допомогою прийнятих величин  $J_{pm}$ ,

висоти стіни ( $B$ ), кута внутрішнього тертя ґрунту<sup>3</sup> ( $\delta$ ) та обчисленій у (11)  $D_n$  так [3]:

$$P_{\delta m}^{zp} = J_{pш} \cdot (D_n + (B/2)) \cdot \tan^2(45^\circ - (\delta/2)). \quad (12)$$

Визначені таким чином величини  $P_c^\delta$  та  $P_{\delta m}^{zp}$  дозволяють обчислити розрахункове навантаження на стіни фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху:

$$P_c^{poz} = P_c^{cm} + P_{\delta m}^{zp}. \quad (13)$$

Таким чином, завдання щодо визначення розрахункових навантажень на покриття і стіни фортифікаційної споруди вважається виконаним. В подальшому, визначені величини навантаження використовуються для розрахунку фактичного напруження під час динамічних навантажень на конструкцію цієї споруди від ударної хвилі ядерного вибуху.

*Приклад.* Згідно вихідних даних (табл. 3) визначити розрахункові навантаження на покриття і стіни фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху.

Таблиця 3

Вихідні дані для визначення розрахункових навантажень на покриття і стіни фортифікаційної споруди

| Вихідні дані   | Значення     |
|--|--------------|
| Потужність першого наземного ядерного вибуху $q_1$ , кт                                  | 10           |
| Потужність другого наземного ядерного вибуху $q_2$ , кт                                  | 30 (табл. 1) |
| Відстань від епіцентру першого ядерного вибуху до споруди $L_1$ , м                      | 500          |
| Інтенсивність опадів   | середня      |
| Атмосферний тиск $P_o$ , кг/см <sup>2</sup>  | 1,033        |
| Товщина обсіпки споруди (рослинний ґрунт) $D_o$ , м                                      | 0,3          |
| Товщина тюф'яку споруди (бутова кладка) $D_m$ , м  | 0,5          |
| Товщина розподільчого шару споруди (глина, суглинки) $D_{pш}$ , м                        | 0,7          |
| Середній діаметр елементів конструкції споруди $d$ , см                                  | 20           |
| Об'ємна вага обсіпки споруди (рослинний ґрунт) $J_o$ , кг/см <sup>3</sup>                | табл. 2      |
| Об'ємна вага тюф'яку споруди (бутова кладка) $J_m$ , кг/см <sup>3</sup>                  |              |
| Об'ємна вага розподільчого шару споруди (глина і суглинки) $J_{pш}$ , кг/см <sup>3</sup> |              |
| Об'ємна вага елементів конструкції споруди (сосна) $J_{нк}$ , кг/см <sup>3</sup>         |              |
| Висота стіни споруди $B$ , см  | 230          |
| Кут внутрішнього тертя ґрунту $\delta$ , град  | 30           |

<sup>3</sup> Під кутом внутрішнього тертя ґрунту мається на увазі найбільший кут між укісом ґрунту з горизонтальною площиною, при якому частинки ґрунту знаходяться у стійкому стані і не обсіпаються [3].

Рішення.

1. Згідно (2) відстань від епіцентру ядерного вибуху потужністю 30 кт до фортифікаційної споруди (рис. 3) становить:  $L_2 = 750$  м.

2. По табл. 1 знаходимо надлишковий тиск у фронті ударної хвилі ядерного вибуху потужністю 30 кт на відстані 750 м від епіцентру вибуху:  $\Delta P_{\phi} = 0,75$  кг/см<sup>2</sup>.

3. Враховуючи метеорологічні умови місцевості надлишковий тиск у фронті ударної хвилі буде дорівнювати:  $\Delta P'_{\phi} = 0,68$  кг/см<sup>2</sup>.

4. Надлишковий тиск ударної хвилі відбиття відповідно (3) рівняється:  $\Delta P_{від} = 1,72$  кг/см<sup>2</sup>.

5. Коефіцієнт відбиття ударної хвилі ядерного вибуху згідно (4) дорівнюється:  $k_{від} = 2,53$ .

6. Тиск у фронті ударної хвилі згідно (5) становить:  $P_{\phi} = 2,75$  кг/см<sup>2</sup>.

7. Загальна товщина усіх шарів покриття фортифікаційної споруди відповідно (6) дорівнює:  $D_c = 1,5$  м.

8. Згідно (7) еквівалентне динамічне навантаження на покриття фортифікаційної споруди рівняється:  $P_n^{\partial} = 4,73$  кг/см<sup>2</sup>.

9. Тиск власної ваги покриття і елементів конструкції фортифікаційної споруди становить:  $P_n^e = 0,28$  кг/см<sup>2</sup> (8).

10. Відповідно (9) розрахункове навантаження на покриття фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху дорівнює:  $P_n^{poz} = 5,01$  кг/см<sup>2</sup>.

11. Еквівалентне динамічне навантаження на стіни фортифікаційної споруди рівняється:  $P_c^{\partial} = 1,75$  кг/см<sup>2</sup> (10).

12. Приведена товщина покриття фортифікаційної споруди згідно (11) становить:  $D_n = 138$  см.

13. Відповідно (12) боковий тиск ґрунту (розподільчого шару) в середині стіни конструкції споруди дорівнює:  $P_{от}^{zp} = 0,14$  кг/см<sup>2</sup>.

14. Розрахункове навантаження на стіни фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху рівняється:  $P_c^{poz} = 1,89$  кг/см<sup>2</sup> (13).

Таким чином, згідно з прийнятими вихідними даними розрахункове навантаження на покриття фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху дорівнює 5,01 кг/см<sup>2</sup>, а розрахункове навантаження на її стіни – 1,89 кг/см<sup>2</sup>.

#### **Визначення фактичного напруження під час динамічних навантажень на конструкцію фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху**

Наступним кроком розрахунків є визначення фактичного напруження під час динамічних навантажень на конструкцію фортифікаційної

споруди ( $Q_\phi$ ) та порівняння його величини з величиною допустимого напруження ( $Q_{дон}$ ) (табл. 4) для визначення впливу ударної хвилі ядерного вибуху на стійкість конструкції цієї споруди.

Таблиця 4

Допустиме напруження під час динамічних навантажень на дерев'яні елементи конструкції фортифікаційної споруди ( $Q_{дон}$ ) [3]

| Рід зусиль        | Величина допустимого напруження, кг/см <sup>2</sup> |                 |
|-------------------|---|-----------------|
|                   | Круглий ліс, брус                                   | Дошки, пластини |
| Згин              | 240   | 200             |
| Стиск та зминання | 240   | 200             |
| Розтяг            | 120   | 75              |

Фактичним напруженням є міра внутрішніх сил, які виникають в окремих елементах конструкції фортифікаційних споруд під впливом зовнішніх сил (навантажень), а допустиме напруження це максимальне напруження, яке допускається в окремому елементі конструкції за умови збереження його цілості [13].

Отже, для початку потрібно визначити момент опору елементів конструкції фортифікаційної споруди ( $W$ ), який є геометричною величиною що характеризує опірність елементів конструкції напруженням залежно від форми і розмірів їх поперечного перерізу [13]. Цю величину визначаємо так [3]:

$$W = 0,1d^3, \quad (14)$$

де  $d$  – середній діаметр елементів конструкції фортифікаційної споруди.

Далі, за визначеним  $P_n^{poz}$ , розраховуємо інтенсивність навантаження ( $r$ ) (навантаження, яке припадає на 1 погонний сантиметр елементів конструкції фортифікаційної споруди):

$$r = P_n^{poz} \cdot d. \quad (15)$$

Враховуючи задану довжину прольоту конструкції фортифікаційної споруди ( $l$ ) визначаємо згинальний момент для рівномірно розподіленого навантаження на елементи конструкції цієї споруди [3]:

$$M = \frac{rl^2}{8}. \quad (16)$$

Використовуючи  $d$  обчислюємо площу поперечного перерізу елементів конструкції фортифікаційної споруди:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (17)$$

Надалі, спираючись на  $B$ ,  $d$  та визначене у (13)  $P_c^{poz}$ , обчислюємо стискаюче зусилля, яке передається через елементи конструкції фортифікаційної споруди ( $N$ ). Це стискання характеризується укороченням елементів конструкції під дією сил, рівнодіюча сила яких

перпендикулярна до поперечного перерізу елементів конструкції і проходить через центр їхньої ваги [13]:

$$N = \frac{B \cdot d \cdot P_c^{poz}}{2}. \quad (18)$$

Визначені таким чином у (14), (16)-(18) величини дозволяють розрахувати фактичне напруження, яке виникає під час динамічних навантажень ударної хвилі ядерного вибуху на конструкцію фортифікаційної споруди:

$$Q_\phi = \frac{N}{S} + \frac{M}{W}. \quad (19)$$

Порівняння  $Q_\phi$  з  $Q_{дон}$  дає змогу зробити висновок про відповідність елементів конструкції вимогам допустимого напруження під час динамічних навантажень та визначити вплив ударної хвилі ядерного вибуху на стійкість конструкції польової фортифікаційної споруди.

*Приклад.* Спираючись на вихідні дані (табл. 5) визначити фактичне напруження під час динамічних навантажень на конструкцію фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху.

Таблиця 5

Вихідні дані для визначення фактичного напруження під час динамічних навантажень на конструкцію фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху

| Вихідні дані  | Значення    |
|---|-------------|
| Матеріал конструкції споруди  | Круглий ліс |
| Висота стіни споруди $B$ , см   | 230         |
| Середній діаметр елементів конструкції споруди $d$ , см                                   | 20          |
| Розрахункове навантаження на покриття і елементи споруди $P_n^{poz}$ , кг/см <sup>2</sup> | 5,01        |
| Довжина проліту несучої конструкції споруди $l$ , см                                      | 190         |
| Розрахункове навантаження на стіни конструкції споруди $P_c^{poz}$ , кг/см <sup>2</sup>   | 1,89        |

Рішення.

1. Згідно (14) момент опору елементів конструкції фортифікаційної споруди становить:  $W = 800 \text{ см}^3$ .

2. Відповідно (15) інтенсивність навантаження на 1 погонний сантиметр елементів конструкції фортифікаційної споруди дорівнює:  $r = 100,2 \text{ кг/см}$ .

3. Згинальний момент для рівномірно розподіленого навантаження на елементи конструкції споруди рівняється:  $M = 452152,5 \text{ кг/см}$  (16).

4. Площа поперечного перерізу елементів конструкції фортифікаційної споруди згідно (17) становить:  $S=314 \text{ см}^2$ .

5. Стискаюче зусилля, яке передається через елементи конструкції фортифікаційної споруди відповідно (18) дорівнює:  $N=4347 \text{ кг}$ .

6. Фактичне напруження під час динамічних навантажень на конструкцію фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху рівняється:  $Q_{\phi}=579,03 \text{ кг/см}^2$ .

7. Порівняння величини визначеного фактичного напруження під час динамічних навантажень на конструкцію фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху з допустимим напруженням (табл. 4) свідчить, що величина допустимого напруження (згинання, стиск та зминання, розтяг) на матеріал конструкції фортифікаційної споруди (у даному випадку круглий ліс) ( $Q_{дон}$ ) є меншою ніж розраховане фактичне напруження ( $Q_{\phi}$ ).

Отже, із зазначеного порівняння робимо висновок, що елементи конструкції фортифікаційної споруди заданих параметрів не відповідають вимогам щодо допустимого напруження під час динамічних навантажень та не забезпечують стійкість цієї конструкції від ударної хвилі ядерного вибуху заданої потужності.

**Висновки.** Таким чином, теоретичні дослідження такого складного і актуального для сучасних умов питання як визначення впливу ударної хвилі ядерного вибуху на стійкість конструкцій польових фортифікаційних споруд свідчать, що цей процес найбільш доцільно розглядати через визначення розрахункових навантажень та фактичного напруження під час динамічних навантажень, які виникають від ударної хвилі на конструкції цих споруд.

Під час визначення розрахункових навантажень на покриття фортифікаційної споруди від ударної хвилі ядерного вибуху одним із головних показників, який чисельно їх характеризує, є тиск у фронті ударної хвилі. Ця величина обчислюється за допомогою закону подібності під час вибухів, який дає змогу визначити параметри ударної хвилі на різних відстанях від епіцентру вибуху будь-якої потужності, якщо ці параметри відомі для вибуху якоїсь визначеної потужності.

Визначені розрахункові навантаження на покриття фортифікаційної споруди дають змогу обчислити навантаження на її стіни, фактичне напруження на конструкцію споруди та визначити властивість матеріалів і конструкцій чинити опір руйнуванню від динамічних навантажень.

Визначення стійкості конструкцій польових фортифікаційних споруд закритого типу від ударної хвилі ядерного вибуху буде сприяти підвищенню рівня захищеності особового складу та успішному виконанню військами завдань під час бойових дій.

Подальшим напрямком досліджень є здійснення перевірочних розрахунків на дію проникаючої радіації через захисну товщу матеріалів елементів конструкції фортифікаційних споруд.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Залужний В.Ф., Мойсюк Є.Г., Шантала С.О.* Воєнно-історичний опис російсько-української війни (лютий – березень 2022 року). Київ: МО України, ГШ ЗС України, 2022. 114 с.
2. *Волощенко О.І., Ковбаса О.Ю.* Методика оцінювання спроможностей військ з фортифікаційного обладнання своїх позицій в операції (бойових діях). *Збірник наукових праць ЦНДІ ЗС України*. Київ, 2020. № 1(92). С. 94–100.
3. *Ананіч С.А., Бузник П.К., Сухарев А.І.* Фортификация. Учебник для военно-инженерных училищ. Москва, 1992. 452 с.
4. *Войсковые фортификационные сооружения*. Москва: Военное издательство, 1984. 720 с.
5. *Кушніренко М.Г., Ворочич Б.О., Лісневський В.В.* Будівельні матеріали, конструкції та основи механіки військово-інженерних споруд. Київ: НАОУ, 2000. 67 с.
6. *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*: 2020. № 106. С. 282-295.
7. *Малаховский Е.К.* Стрельба на поражение опорных пунктов. Москва: Военное издательство, 1978. 112 с.
8. *У. Бейкер, П.Кокс, П. Уэстайн, Дж. Кулеи, Р. Стрелю.* Взрывные явления. Оценка и последствия. Часть 1. Москва: Издательство «Мир», 1986. 319 с.
9. *Kotsiuruba V.I., Datsenko I.P., Dachkovsky V.O., Cherevko R.M., Androshchuk O.V., Tsybizov A.L., Kryvtisun V.I.* Methodological and scientific approach into the process of calculation a multilayer underground protective structure. *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-andtechnical collected articles*. Kyiv: KNUBA, 2021. Issue 107. - P. 159-169.
10. *Ядерное оружие. Пособие для офицеров*. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Воениздат, 1987. 168 с.
11. *Защита от оружия массового поражения. Библиотека офицера*. Под ред. Мясникова В.В. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Воениздат, 1989. 398 с.
12. *Радіаційний, хімічний, біологічний захист підрозділів. Курс лекцій*. За заг. ред. Гишка Г.Б. Харків: ХУПС, 2007. 260 с.
13. *Шмиг Р.А., Боярчук В.М., Добрянський І.М., Барабаш В.М.* Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури. За заг. ред. Шмига Р.А. Львів. 2010. 222 с.

## REFERENCES

1. *Zaluzhnyi V.F., Moisiuk Y.H., Shaptala S.O.* Voenno-istorychnyi opys rosiisko-ukrainskoi viiny (liutyi – berezen 2022 roku) (Military-historical description of the Russian-Ukrainian war (February - March 2022)). Kyiv: MO Ukrainy, HSh ZS Ukrainy, 2022. 114 s. (in Ukrainian).
2. *Voloshchenko O.I., Kovbasa O.Y.* Metodyka otsiniuvannya spromozhnosti viisk z fortyfikatsiinoho obladdannia svoikh pozytsii v operatsii (boiovykh diiakh) (Methodology for assessing the capabilities of the troops from the fortification equipment of their positions in the operation (combat operations)). *Zbirnyk naukovykh prats TsNDI ZS Ukrainy*. Kyiv, 2020. № 1 (92). S. 94–100. (in Ukrainian).
3. *Ananych S.A., Buznyk P.K., Sukharev A.I.* Fortyfykatsiya. Uchebnyk dlia voennozhenernykh uchylshch. (Fortification. Textbook for military engineering colleges) Moskva, 1992. 452 s. (in Russian).
4. *Voiskovyye fortyfykatsyonnyie sooruzheniya*. (Military fortifications) Moskva: Voennoe izdatelstvo, 1984. 720 s. (in Russian).
5. *Kushnirenko M.H., Vorovykh B.O, Lisnevskiy V.V.* Budivelni materialy, konstruksii ta osnovy mekhaniky viiskovo-inzhenerykh sporud (Building materials, constructions and basics of mechanics of military engineering structures). Kyiv: NAOU, 2000. 67 s. (in Ukrainian).
6. *Voloshchenko O.I., Kushnirenko M.H., Chernykh I.V.* Udoskonalennia metodyky rozrakhunku konstruksii pokryttia zakrytykh polovykh fortyfikatsiinykh sporud dlia zabezpechennia zhyvuchosti viisk u suchasnomu zbroynomu konflikti (Improvement of the methodology for calculating the structures of the cover of closed field fortifications to ensure the survivability

- of troops in a modern war conflict). *Opir materialiv i teoriia sporud*: 2020. № 106. S. 282-295. (in Ukrainian).
7. *Malakhovskiy E.K.* Strelba na porazhenye opornykh punktov (Shooting to destroy strongholds). Moskva: Voennoe izdatelstvo, 1978. 112 s. (in Russian).
  8. *U. Beiker, P.Koks, P. Uestain, Dg. Kulesh, R. Strelou.* Vzryvnye yavleniya. Otsenka i posledstviya. Chast 1 (Explosive events. Assessment and consequences. Part 1). Moskva: Izdatelstvo «Mir», 1986. 319 s. (in Russian).
  9. *Kotsiuruba V.I., Datsenko I.P., Dachkovskiy V.O., Cherevko R.M., Androshchuk O.V., Tsybizov A.L., Kryvtisun V.I.* Methodological and scientific approach into the process of calculation a multilayer underground protective structure. *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-andtechnical collected articles*. Kyiv: KNUBA, 2021. Issue 107. P. 159-169. (in Ukrainian).
  10. *Yadernoe oruzhye. Posobyе dlia ofytserov. 4-e izd., pererab. i dop.* (Nuclear weapon. Manual for officers. 4th ed., revised and additional) Moskva: Voenyzzdat, 1987. 168 s. (in Russian).
  11. *Zashchyta ot oruzhyia massovoho porazheniya. Byblyoteka ofytsera. Pod red. Miasnykova V.V. 2-e yzd., pererab. y dop.* (Protection from weapons of mass destruction. Officer's library. Under the editorship of Miasnikov V.V. 2nd ed., revised and additional) Moskva: Voenyzzdat, 1989. 398 s. (in Russian).
  12. *Radiatsiyniy, khimichnyi, biolohichnyi zakhyst pidrozdiliv. Kurs lektsii. Za zah. red. Hyshka H.B.* (Radiation, chemical, biological protection of units. Course of lectures. Under the editorship of Gishka G.B.) Kharkiv: KhUPS, 2007. 260 s. (in Ukrainian).
  13. *Shmyh R.A., Boiarchuk V.M., Dobrianskiy I.M., Barabash V.M.* Terminolohichnyi slovnyk-dovidnyk z budivnytstva ta arkhitektury. Za zah. red. Shmyha R.A. (Terminological dictionary-handbook on construction and architecture. Under the editorship of Shmyga R.A.) Lviv. 2010. 222 s. (in Ukrainian).

*Стаття надійшла 30.07.2022*

*Kosenko V.S., Voloshchenko O.I., Kushnirenko M.G.*

#### **DETERMINATION OF THE ENCLOSED-TYPE FIELD FORTIFICATIONS STRUCTURES RESISTANCE AGAINST THE NUCLEAR EXPLOSION SHOCK WAVE**

The purpose of the article is to publish the results of research on determining the stability of the structures of enclosed-type field fortification structures against the nuclear explosion shock wave.

Having received a worthy repulse of aggression, assessing its losses and the capabilities of the Armed Forces of Ukraine, Russia moved to direct threats to use nuclear weapons.

With this development of the war, the protection of our troops must be carried out by sheltering personnel, weapons and equipment in the enclosed type field fortifications; the stability of these structures must be sufficient, in particular, to counteract the nuclear explosion shock wave.

Calculation of the stability of such structures against the nuclear explosion shock wave is proposed to be carried out in two stages.

At the first stage, the estimated loads of the nuclear explosion shock wave on the main protective elements of the fortification are calculated. The calculation is based on the law of similarity during explosions, which allows determining the parameters of the shock wave at different distances from the epicenter of a nuclear explosion.

At the second stage, the actual stress during dynamic loads, which occurs as a result of the impact of a shock wave on the structure of a certain fortification structure, is determined.

The basis of the calculations at this stage is the determination of the moment of resistance of the fortification structure elements, the load intensity, the bending moment for an evenly distributed load on the main structural elements, and the compressive force transmitted through these elements.

Each stage of calculations is illustrated by examples. The proposed procedure for determining the stability of structures of the enclosed-type field fortifications against the nuclear explosion shock wave allows you to choose the material of the right size for these structures, which will ensure the stability of their functioning and the necessary survivability of personnel during a nuclear explosion.

**Key words:** design loads, structural stability, shock wave of a nuclear explosion.

*Косенко В.С., Волощенко А.И., Кушніренко Н.Г.*

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ПОЛЕВЫХ ФОРТИФИКАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ ЗАКРЫТОГО ТИПА ОТ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА**

Целью статьи является обнародование результатов исследований по определению стойкости конструкций полевых фортификационных сооружений закрытого типа от ударной волны ядерного взрыва.

Получив достойный отпор агрессии, оценив свои потери и возможности Вооруженных Сил Украины, Россия перешла к прямым угрозам применения ядерного оружия.

При таком развитии войны защиту наших войск необходимо осуществлять путем укрытия личного состава, вооружения и техники в полевых фортификационных сооружениях закрытого типа, стойкость конструкций которых должна быть достаточной, в частности для противодействия ударной волне ядерного взрыва.

Расчет стойкости конструкций таких сооружений от ударной волны ядерного взрыва предлагается выполнить в два этапа.

На первом этапе вычисляются расчетные нагрузки ударной волны ядерного взрыва на основные защитные элементы фортификационного сооружения. В основе вычислений лежит закон подобия во время взрывов, который позволяет определить параметры ударной волны на разных расстояниях от эпицентра ядерного взрыва.

На втором этапе определяется фактическое напряжение во время динамических нагрузок, которое возникает в результате воздействия ударной волны на конструкцию определенного фортификационного сооружения.

Основой вычислений на этом этапе является определение момента сопротивления элементов конструкции фортификационного сооружения, интенсивности нагрузки, изгибающего момента для равномерно распределенной нагрузки на основные элементы конструкции и сжимающего усилия, которое передается через эти элементы.

Каждый этап вычислений иллюстрируется примерами. Предложенный порядок определения стойкости конструкций полевых фортификационных сооружений закрытого типа от ударной волны ядерного взрыва позволяет выбрать материал необходимых размеров для этих сооружений, который обеспечит стойкость их функционирования и необходимую живучесть личного состава во время ядерного взрыва.

**Ключевые слова:** расчетные нагрузки, стойкость конструкции, ударная волна ядерного взрыва.

УДК 358.211

*Косенко В.С., Волощенко О.И., Кушніренко М.Г. Визначення стійкості конструкцій польових фортифікаційних споруд закритого типу від ударної хвилі ядерного вибуху // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2022. – Вип. 109. – С. 387-402.*

*Вирішувється завдання щодо визначення стійкості конструкцій польових фортифікаційних споруд закритого типу від ударної хвилі ядерного вибуху шляхом обчислення розрахункових навантажень та фактичного напруження в основних елементах цих конструкцій.*

Іл. 4. Бібліогр. 13 назв.

UDC 358.211

*Kosenko V.S., Voloshchenko O.I., Kushnirenko M.G. Determination of the enclosed-type field fortifications structures resistance against the nuclear explosion shock wave // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific and technical collected articles. – K.: KNUBA, 2022. – Issue 109. – P. 387-402.*

*The task of determining the stability of the structures of closed-type field fortification structures against the nuclear explosion shock wave is solved by calculating the loads' design and the actual stress in the main elements of these structures.*

Fig. 4. Ref. 13.

УДК 358.211

*Косенко В.С., Волощенко А.И., Кушніренко Н.Г. Определение стойкости конструкций полевых фортификационных сооружений закрытого типа от ударной волны ядерного взрыва // Сопротивление материалов и теория сооружений: науч.-тех. сборн. – К.: КНУСА, 2022. – Вып. 109. – С. 387-402.*

*Решается задача по определению стойкости конструкций полевых фортификационных сооружений закрытого типа от ударной волны ядерного взрыва путем вычислений расчетных нагрузок и фактического напряжения в основных элементах этих конструкций. Ил. 4. Библиогр.13 назв.*

**Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада):** кандидат військових наук, старший науковий співробітник 3 НДУ Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України. Косенко Віталій Сергійович.

**Адреса робоча:** 03049 Україна, м. Київ, Повітрофлотський пр., 28, Центральный науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Косенко Віталій Сергійович.

**Мобільний тел.:** + 38(098) 440 28 60

**E-mail:** kvc1973@meta.ua

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0002-1724-6918>

**Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада):** кандидат військових наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник 3 НДУ Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, Волощенко Олександр Іванович.

**Адреса робоча:** 03049 Україна, м. Київ, Повітрофлотський пр., 28, Центральный науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Волощенко Олександр Іванович.

**Мобільний тел.:** + 38(063) 325 08 45

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

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

**Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада):** Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури, Кушніренко Микола Григорович.

**Адреса робоча:** 03680 Україна, м. Київ, Повітрофлотський пр., 31, Київський національний університет будівництва і архітектури, Кушніренко Микола Григорович.

**Мобільний тел.:** + 38(067) 220 52 66

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

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