

# Методика оцінювання ефективності живучості військових об'єктів

## Methodology effectiveness assessment of the survivability of the military objects

### Микола Підгородецький

**Correspond author:** кандидат військових наук, доцент, начальник кафедри, e-mail: nickpidhorodetskyi@gmail.com, ORCID:0000-0003-4807-8635

### Анатолій Нікітін

доктор філософії, професор кафедри, e-mail: tolik-nikitin@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1487-0616

### Іван Мещеряков

доктор філософії, доцент кафедри, e-mail: shulyk3004@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5797-0735

### Ярослав Кізяк

кан. військ. наук, старший дослідник, професор кафедри, e-mail: k-y-o@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5489-6100

### Богдан Тертишний

доктор філософії, старший викладач кафедри, e-mail: hlor2007@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9060-761X

### Mykola Pidhorodetskyi

**Correspond author:** Candidate of Technology Sciences, Associate Professor, Head of the Department, e-mail: nickpidhorodetskyi@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4807-8635

### Anatolii Nikitin

Doctor of Philosophy, Professor of the Department, e-mail: tolik-nikitin@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1487-0616

### Ivan Meshcheriakov

Doctor of Philosophy, Associate Professor of the Department, e-mail: shulyk3004@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5797-0735

### Yaroslav Kiziak

Candidate of Technology Sciences, Senior Researcher, Professor of the Department, e-mail: k-y-o@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5489-6100

### Bohdan Tertyshnyy

Doctor of Philosophy, Senior Lecturer of the Department e-mail: hlor2007@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9060-761X

Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: February 13, 2025 | Revised: February 24, 2025 | Accepted: February 28, 2025

DOI: 10.33445/sds.2025.15.1.25

**Мета роботи:** розробка методики оцінювання ефективності живучості військових об'єктів на основі принципів ймовірного аналізу.

**Метод дослідження:** моделювання, імітаційний аналіз, ймовірнісний метод, метод оптимізації, теорія ймовірності.

**Результати дослідження:** розроблена методика оцінювання ефективності живучості військ на принципах ймовірного аналізу. На практичному прикладі перевірена її адекватність.

**Теоретична цінність дослідження:** дозволяє формалізувати процес оцінювання ефективності фортифікаційних споруд, розглядаючи ймовірність їхнього збереження під час ударів противника.

**Тип статті:** дослідницька, аналітична, розрахункова.

**Purpose:** development of a methodology for assessing the effectiveness of the survivability of military facilities based on the principles of probabilistic analysis.

**Method:** modelling, simulation analysis, probabilistic method, optimisation method, probability theory.

**Findings:** a methodology for assessing the effectiveness of the survivability of troops based on the principles of probabilistic analysis has been developed. Its adequacy has been tested using a practical example.

**Theoretical implications:** allows you to formalize the process of assessing the effectiveness of fortifications, considering the probability of their survival during enemy attacks.

**Papertype:** research, analytical, computational.

**Ключові слова:** живучість, фортифікаційне обладнання, ефективність, ймовірність, загроза, захист, ступінь, ризик, безпілотні літальні апарати, боеприпас, засоби ураження, споруди.

**Key words:** survivability, fortification equipment, efficiency, probability, threat, protection, degree, risk, unmanned aerial vehicles, ammunition, means of destruction, structures.

## Вступ

Досвід ведення бойових дій диктує необхідність фортифікаційного обладнання позицій в районі розташування військ. Але ступінь захищеності особового складу залежить не лише від кількості обладнаних позицій а і від характеру фортифікаційного обладнання. Характер фортифікаційного обладнання, під яким розуміється кількість та типи споруд які будуються, визначається великою кількістю чинників (факторів). Для того щоб прийняти вірне рішення з фортифікаційного обладнання, яке найбільш повно відповідає конкретним умовам обстановки, необхідно оцінити його відповідність чинникам. Це досягається шляхом оцінювання ефективності фортифікаційного обладнання. Оскільки основною метою фортифікаційного обладнання є забезпечення захисту військ й підвищення ефективності застосування зброї та бойової техніки, критерії його ефективності повинні характеризувати

ступінь досягнення саме цієї мети. При цьому фортифікаційне обладнання районів розташування військ, в яких війська не ведуть бойові дії з наземним противником, здійснюється головним чином з метою підвищення захисту військ тому ефективність доцільно оцінювати їх живучістю. На позиціях та в районах оборони фортифікаційне обладнання, поряд з захистом військ, має і іншу мету – підвищення ефективності бойового застосування усіх видів зброї. З вищевикладеного можливо зробити висновок, що за рахунок підвищення ефективності фортифікаційного обладнання підвищуються бойові спроможності військ по нанесенню ураження противнику, які можливо розглядати як основний критерій оцінювання.

### **Теоретичні основи дослідження**

Аналіз останніх публікацій [1-6] стосовно оцінювання ефективності живучості військових об'єктів свідчить, що на їх живучість впливає велика кількість чинників (факторів), серед яких надважливе місце мають: замисел бою (операції); можливості противника з нанесення ударів; ступінь розосередження військ; час перебування військ на позиціях та в районах; умови маскування; захисні властивості місцевості; можливості військ з фортифікаційного обладнання місцевості. Вони також підкреслюють важливість комплексного підходу до оцінювання та забезпечення живучості військових об'єктів, включаючи технічні, організаційні та інженерні заходи. Методи, які запропоновані у попередніх дослідженнях, демонструють, що вони базуються на математичних моделях, імітаційному моделюванні, ймовірнісних підходах та експертних оцінках. Дослідники пропонують різні методики оцінювання живучості військових об'єктів. Останні дослідження [7-11] також приділяють увагу підвищенню живучості об'єктів критичної інфраструктури, озброєння, арсеналів, баз та складів зберігання ракет і боєприпасів а також застосуванню штучного інтелекту для аналізу даних та прогнозування загроз.

Таким чином, оцінювання ефективності живучості військових об'єктів є багатофакторною задачею, що потребує поєднання різних підходів та технологій для забезпечення максимальної стійкості військ у сучасних умовах бойових дій.

### **Постановка проблеми**

Зважаючи на важливість підвищення живучості військ за рахунок підвищення живучості військових об'єктів в частині інтеграції методів математичного моделювання, імітаційного аналізу та штучного інтелекту для прогнозування загроз і оптимізації рішень, проблема оцінювання ефективності живучості військових об'єктів залишається недостатньо дослідженою. Це створює необхідність розробки нових підходів до визначення ефективності живучості військових об'єктів залежно від умов бойової обстановки.

Таким чином, метою цієї роботи є розробка методики оцінювання ефективності живучості військових об'єктів, яка дозволить обґрунтувати рекомендації щодо підвищення живучості військ та їхньої бойової ефективності у сучасних умовах бойових дій на принципах ймовірнісного аналізу.

### **Результати**

В залежності від розмірів об'єктів, характеру розміщення на них окремих елементів або споруд, потужності та видів засобів ураження, якими наноситься удар, усі об'єкти можна розподілити на дві основні групи: точкові та площинні (похідним від площа). Під час розрахунків уражаючого впливу снарядів та авіаційних бомб в звичайному спорядженні усі об'єкти, в тому числі фортифікаційні споруди, приймаються як площинні цілі. Під час розрахунків впливу ядерної зброї та ракет до точкових відносяться ті об'єкти радіус яких ( $r_B$ ) або половина найбільшої сторони якої не перевищує  $0,1 R_B$ . Тобто:

$$r_B \leq 0,1R_B, \quad (1)$$

де  $r_B$  – радіус об'єкту, або половина його найбільшої сторони;

$R_B$  – радіус ураження об'єкту зазначеними боєприпасами.

У разі невиконання зазначеної умови об'єкт слід розглядати як площинну ціль.

Площинний об'єкт може включати в себе точкові цілі, рівномірно розташовані по всій площі об'єкту, а також з точкових або площинних груп цілей, між якими є більші або менше значущі проміжки. В крайньому випадку об'єкт називають груповим. У разі якщо окремі елементи групового об'єкта функціонально пов'язані між собою, то такий об'єкт називається груповим з взаємозалежними елементами.

Поняття живучості для кожної з вказаних груп об'єктів неоднакові. У разі нанесення удару по точковому об'єкту він може бути уражений або не уражений взагалі. Тому критерієм живучості точкового об'єкту може бути ймовірність його ураження.

Площинний об'єкт може бути уражений повністю або частково. У випадку часткового ураження площинного об'єкту виходить зі строю частина особового складу, зброї, техніки. Тому критерієм живучості такого об'єкту слід вважати математичне очікування частки неураженого особового складу (техніки, озброєння).

У груповому об'єкті, який включає в себе взаємопов'язані елементи, ураження навіть одного елементу може призвести до припинення функціонування всього об'єкту. Тому критерієм живучості таких об'єктів може слугувати ймовірність збереження функціонування.

В загальному вигляді живучість об'єкту може бути представлена виразом:

$$Q = 1 - P_{DET}P_{DAM}, \quad (2)$$

де  $P_{DET}$  – ймовірність виявлення об'єкту;

$P_{DAM}$  – ймовірність або математичне очікування відносної частки ураження об'єкту у разі виявлення його з ймовірністю  $P_{DET}=1$ . Ймовірність виявлення об'єкту залежить від виконаних заходів маскування, часу перебування об'єкту на одному й тому ж місці.

Снарядами, авіабомбами, боєприпаси з безпілотних літальних апаратів в звичайному спорядженні об'єкти можуть уражатися при стрільбі, (бомбометанні), скиданні боєприпасів з безпілотних літальних апаратів з розсіюванням боєприпасів по площі об'єкту або під час стрільби прямою наводкою по окремим спорудам.

Досвід вказує, що особовий склад, техніка, озброєння які розміщуються в сховищах, виходять зі строю у разі влучення боєприпасу в деяку площу  $F_{DAM}$  яка називається площа ураження споруди або приведеною зоною ураження елементарної цілі, яку отримують в результаті апроксимації координатного закону ураження. В залежності від типу споруди і потужності боєприпасу зазначена площа може бути рівною, більшою чи меншою площі споруди. Принаймні, у разі попадання боєприпасу в межі цієї площі виходить з ладу сама споруда. Виходячи з цього можна вважати, що живучість об'єкта визначається ймовірністю не ураження споруди і часткою особового складу (техніки, озброєння) які знаходяться в спорудах.

В такому випадку живучість площинного об'єкту, обладнаного спорудами, яким властивий не однаковий ступінь захисту, може бути виражений формулою

$$Q = 1 - (1 - \sum_{i=1}^M q_i N_i) P_{DET}, \quad (3)$$

де  $Q$  – живучість об'єкту (математичне очікування частки збереженого особового складу, техніки, озброєння);

$q_i$  – імовірність не ураження споруди  $i$ -го типу;

$M$  – кількість типових споруд;

$N_i$  – частка особового складу (техніки, озброєння), які знаходяться в спорудах  $i$ -го типу.

У разі стрільби бомбометанні, нанесення удару боєприпасами з безпілотних літальних апаратів в звичайному спорядженні по площі імовірність не ураження окремої споруди визначається за виразом

$$q_i = e^{-nF_{DAM}}, \quad (4)$$

де  $n$  – кількість снарядів, авіаційних бомб, боєприпасів з безпілотних літальних апаратів, яка припадає на  $1 \text{ м}^2$  площі об'єкту, боєпр./ $\text{м}^2$ ;

$F_{DAM}$  – площа ураження споруди  $\text{м}^2$ .

Якщо обстріл (удар) ведеться боєприпасами різного калібру то для проведення розрахунків слід всі боєприпаси привести до єдиного розрахункового боєприпасу (ЄРБ) щільність яких можна визначити за виразом

$$n_{MCH} = \frac{n_R \sqrt[3]{C_F}}{\sqrt[3]{C_{MCH}}}, \quad (5)$$

де  $n_R$  – фактична щільність боєприпасів даного калібру, який приводиться до єдиного розрахункового боєприпасу;

$C_F$  – вага заряду боєприпасу який приводиться до єдиного розрахункового боєприпасу;

$C_{MCH}$  – вага заряду єдиного розрахункового боєприпасу.

У випадку, якщо точка прицілювання співпадає з центром споруди, тоді імовірність його не ураження з одного пострілу визначається за виразом

$$q = 1 - F\left(\frac{a}{E_{DIS}}\right)\left(\frac{b}{E_{DIR}}\right), \quad (6)$$

де  $F$  – приведена функції Лапласа,  $F = \frac{2\rho}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} e^{-p^2 t} dt$ ;

$a, b$  – половина сторін ураження;

$E_{DIS}, E_{DIR}$  – усереднене імовірнісне відхилення по дальності та напрямку.

Якщо розсіювання боєприпасу відбувається симетрично ( $E_{DIS} = E_{DIR} = E$ ), а площа ураження за формою близька до квадрату, в такому випадку зміщення точки прицілювання з центром споруди імовірність ураження одним пострілом визначається за виразом

$$P = (1 - e^{-0.072 \frac{F_s}{E^2}}). \quad (7)$$

Під час декількох пострілів по споруді живучість буде дорівнювати добутку ймовірностей невлучення з кожного пострілу

$$q = \prod_{j=1}^n [1 - P_{DET} (1 - e^{-0.072 (F_{sj}/E^2)})], \quad (8)$$

де  $F_{sj}$  – площа, яка уражається під час стрільби  $j$ -им боєприпасом;

$n$  – кількість пострілів по споруді;

Під час стрільби (нанесення удару) декількома боеприпасами однієї потужності з однаковим імовірнісним відхиленням  $E$  імовірність не ураження споруди визначають за виразом

$$q = 1 - P_{DET} (1 - e^{-0.072 \frac{F_{sj}}{E^2}}), \quad (9)$$

Ефективність фортифікаційного обладнання  $W_{FORT}$  оцінюється підвищенням живучості військ порівняно з їх живучістю під час відкритого розташування на місцевості ( $Q_{OPEN}$ ) або в порівнянні з іншим варіантом фортифікаційного обладнання

$$W_{FORT} = \frac{Q_{FORT}}{Q_{OPEN}}. \quad (10)$$

Об'єктами нанесення удару можуть бути опорні пункти [12] та райони оборони, райони зосередження військових частин, вогневі позиції артилерії, позиційні райони ракетних підрозділів та райони розгортання пунктів управління. Кількість та потужність боеприпасів, які застосовуються противником під час нанесення удару по об'єкту, буде залежати від розмірів об'єкту і розташування його елементів на місцевості, ступеню захищеності об'єкту. Якщо в межах площі об'єкту особовий склад і техніка розташовуються рівномірно і відстань між окремими елементами значно менша радіусу ураження ( $R_{DAM}$ ) тоді по об'єкту можна очікувати нанесення удару одним або декількома боеприпасами, сумарна площа ураження яких під час розташування особового складу та техніки на відкритій місцевості не менше площі об'єкту. У випадку коли елементи на об'єкті розосередженні на відділені один від одного, більшим чи рівним ( $2R_{DAM}$ ), то як правило, під час оцінювання живучості об'єкту слід виходити з умови нанесення по ньому удару декількома боеприпасами.

По точковому об'єкту ( $r_{DAM} \leq 0.1R_{DAM}$ ), розрахунковим випадком слід приймати удар одним боеприпасом.

Імовірність не ураження точкового об'єкту, яка характеризує його живучість визначається за формулою

$$q = 1 - \frac{1}{4} [F(\frac{l_x + a_{DAM}}{E}) - F(\frac{l_x - a_{DAM}}{E})] [F(\frac{l_x + a_{DAM}}{E}) - F(\frac{l_x - a_{DAM}}{E})]. \quad (11)$$

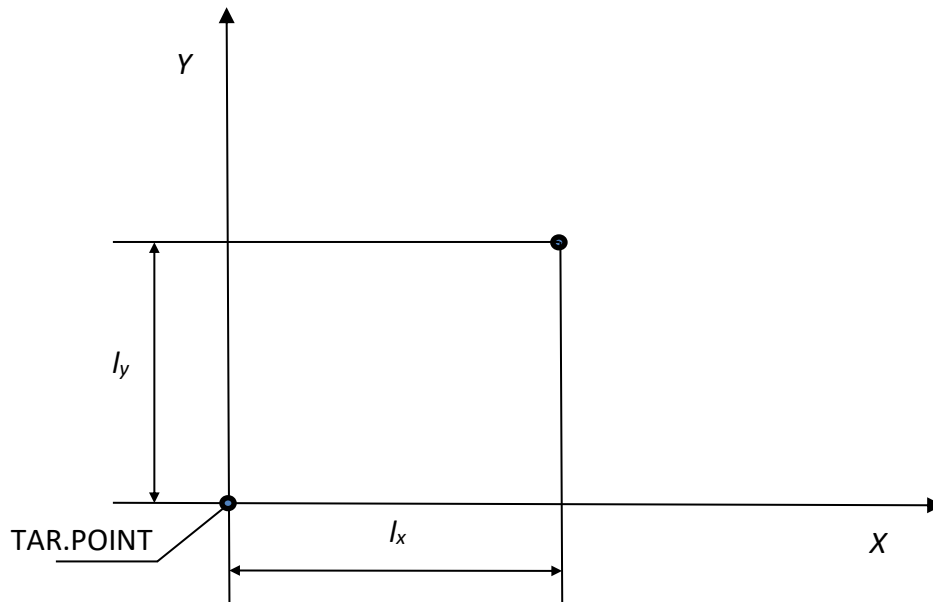
де  $a_{DAM}$  – половина сторони квадрату рівновеликого площі кола з радіусом  $R_{DAM}$ ,

$$a_{DAM} = 0,886 \cdot R_{DAM};$$

$R_{DAM}$  – радіус ураження споруди даного типу;

$E$  – середнє імовірнісне відхилення боеприпаси від точки прицілювання.

У виразі (11)  $l_x$  та  $l_y$  – відстань від точки прицілювання (рис 1).



**Рисунок 1**– Розрахункова схема точкового об'єкта TAR.POINT – точка прицілювання

Якщо точкою прицілювання виступає сам точковий об'єкт  $l_x = l_y = 0$ , тоді імовірність ураження об'єкту визначається за виразом

$$q = e^{-0.072 \left( \frac{R_{DAM}}{E} \right)^2} \quad (12)$$

Математичне очікування частки збережених споруд у випадку рівномірного їх розподілу по площі об'єкту визначається за виразом

$$q_i = 1 - \frac{2,2E^2}{S_{OBJ}} \left[ f\left(\frac{l_x + a_{OBJ} + a_{DAM}}{1,48E}\right) - f\left(\frac{l_x - a_{OBJ} - a_{DAM}}{1,48E}\right) - f\left(\frac{l_x + a_{OBJ} + a_{DAM}}{1,48E}\right) - f\left(\frac{l_x - a_{OBJ} - a_{DAM}}{1,48E}\right) \right] \cdot \left[ f\left(\frac{l_y + b_{OBJ} + a_{DAM}}{1,48E}\right) - f\left(\frac{l_y - b_{OBJ} - a_{DAM}}{1,48E}\right) - f\left(\frac{l_y + b_{OBJ} + a_{DAM}}{1,48E}\right) - f\left(\frac{l_y - b_{OBJ} - a_{DAM}}{1,48E}\right) \right] \quad (13)$$

де  $l_x, l_y$  – відстань від точки прицілювання до центру площі об'єкту (рис 1.);

$S_{OBJ}$  – площа об'єкту;

$a_{OBJ}, b_{OBJ}$  – половина ширини, довжини об'єкту;

$f$  – функція виду.

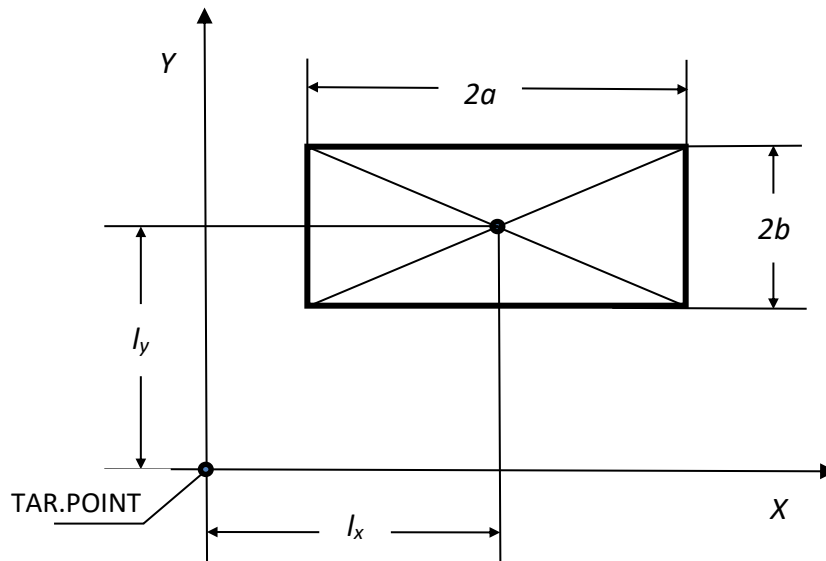
$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (14)$$

Значення функції наведено в таблицях значень функції для інтегральної теореми Муавра-Лапласа [13].

Якщо точкою прицілювання виступає центр площі об'єкту ( $l_x = l_y = 0$ ), то вираз (13) приймає вигляд

$$q_i = \frac{8,8E^2}{S_{OBJ}} \left[ f\left(\frac{a_{OBJ} + a_{DAM}}{1,48E}\right) - f\left(\frac{a_{OBJ} - a_{DAM}}{1,48E}\right) \right] \left[ f\left(\frac{b_{OBJ} + a_{DAM}}{1,48E}\right) - f\left(\frac{b_{OBJ} - a_{DAM}}{1,48E}\right) \right] \quad (15)$$

Для захисту особового складу, техніки та озброєння на позиціях, опорних пунктах та в районах, обладнуються споруди різного типу, яким властивий різний радіус ураження (рис 2).



**Рисунок 2**– Розрахункова схема площинного об’єкта TAR.POINT – точка прицілювання

Загальна живучість такого об’єкту ( $Q_{SURV}$ ) у разі нанесення одним боеприпасом, характеризується математичним очікуванням частки збереженого особового складу, техніки чи озброєння і визначається за виразом

$$Q_{SURV} = 1 - P_{DET} \left( 1 - \sum_{i=1}^M q_i N_i \right), \quad (16)$$

де  $q_i$  – математичне очікування частки збережених споруд  $i$ -го типу, визначається за формулами (13.) або (14);

$M$  – кількість типових споруд;

$N_i$  – частка особового складу (техніки, озброєння), які знаходяться в спорудах  $i$ -го типу;

Під час стрільби (нанесення удару) декількома боеприпасами тоді

$$Q_{SURV} = 1 - P_{DET} \left( 1 - \prod_{j=1}^n \sum_{i=1}^M q_{i,j} N_i \right), \quad (17)$$

де  $q_{i,j}$  – математичне очікування частки збережених споруд  $i$ -го типу, від впливу боеприпасу  $j$ -го типу;

$n$  – кількість боеприпасів.

Таким чином, для оцінювання живучості площинного об’єкту, обладнаного спорудами різного типу, у разі нанесення удару декількома боеприпасами за викладеною вище методикою, необхідно визначати живучість кожного типу споруд під час впливу кожного боеприпасу. Розрахунки можуть бути спрощені, якщо прийняти що ймовірність відхилення боеприпасу від точки прицілювання  $E = 0$ .

Правомірність такого припущення обумовлюється тим, що точність доставки боеприпасів в сучасних умовах суттєво зросла. Ймовірне відхилення складає 0,01 розміру порівняно невеликої цілі як взводний опорний пункт.

У разі такого припущення і рівномірному розташування споруд на площі об’єкту



математичне очікування частки збережених споруд під час впливу одного боєприпасу чисельно дорівнюватиме частці неуразеної площі об'єкту та розраховуватися за формуло

$$q_i = 1 - \frac{\pi R_{DAM,i}^2}{S_{OBJ}}, \quad (18)$$

де  $S_{OBJ}$  – розрахункова площа об'єкту;

$R_{DAM,i}$  – радіус ураження споруд  $i$ -го типу.

Для визначення живучості об'єкту, обладнаного спорудами різного типу, введемо коефіцієнт захищеності споруд, під яким будемо розуміти відношення радіусу ураження особового складу (техніки, озброєння) під час відкритого розміщення на місцевості ( $R_{DAM_{OPEN}}$ ) до радіусу ураження особового складу (техніки, озброєння) під час розміщення в сховищах даного типу ( $R_{DAM_{FORT}}$ ). Приймаючи радіус ураження під час відкритого розміщення боєприпасом підвищеної потужності 1 кт за одиницю, отримуємо наступні середні значення коефіцієнтів захищеності особового складу різного типу (Табл.1).

**Таблиця 1 – Середні значення коефіцієнтів захищеності особового складу різного типу.**

Тип споруди, в якій розміщується особових склад	Коефіцієнт захищеності $K_{SEC}$
Відкрито на місцевості	1,0
В спорудах відкритого типу	1,10
В перекритих щілинах	1,50
В бойових броньованих машинах	1,15
В танках	1,65
В бліндажах	4,2
В спорудах закритого типу для ведення вогню з ступенем захисту 1 кг/см <sup>2</sup>	3,0
В спорудах закритого типу для ведення вогню з ступенем захисту 2 кг/см <sup>2</sup>	4,0
В сховищах з ступенем захисту 2 кг/см <sup>2</sup>	8,0
В сховищах з ступенем захисту 2 кг/см <sup>2</sup>	9,0

Середнє значення коефіцієнту захищеності об'єкту, обладнаного спорудами різного типу ( $K_{SEC_{AVR}}$ ), визначається за виразом

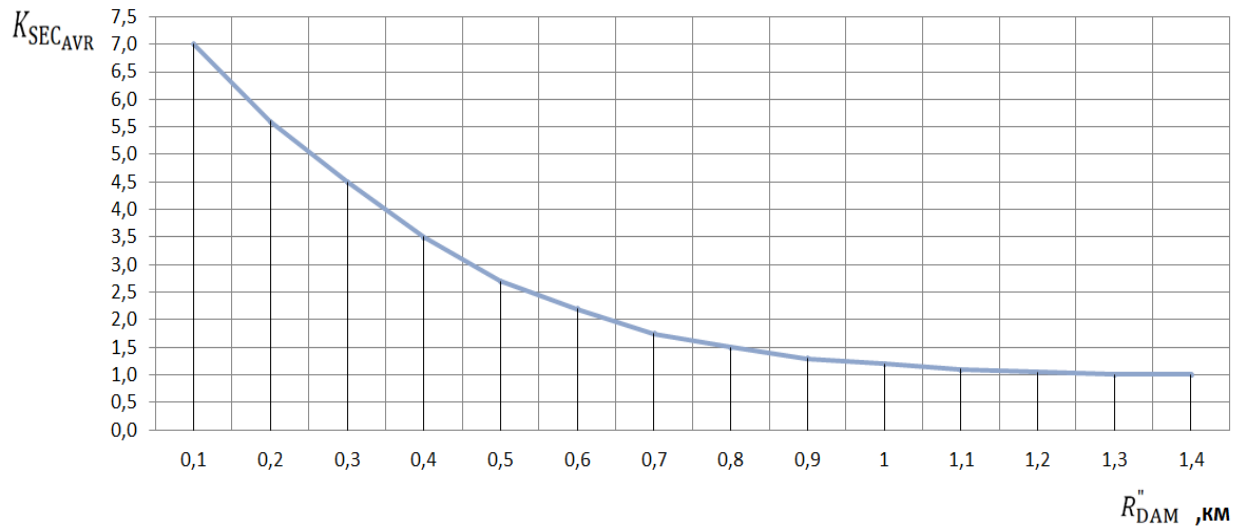
$$K_{SEC_{AVR}} = \sum_{i=1}^M K_{SEC,i} N_i, \quad (19)$$

де  $K_{SEC,i}$  – коефіцієнт захищеності споруди  $i$ -го типу;

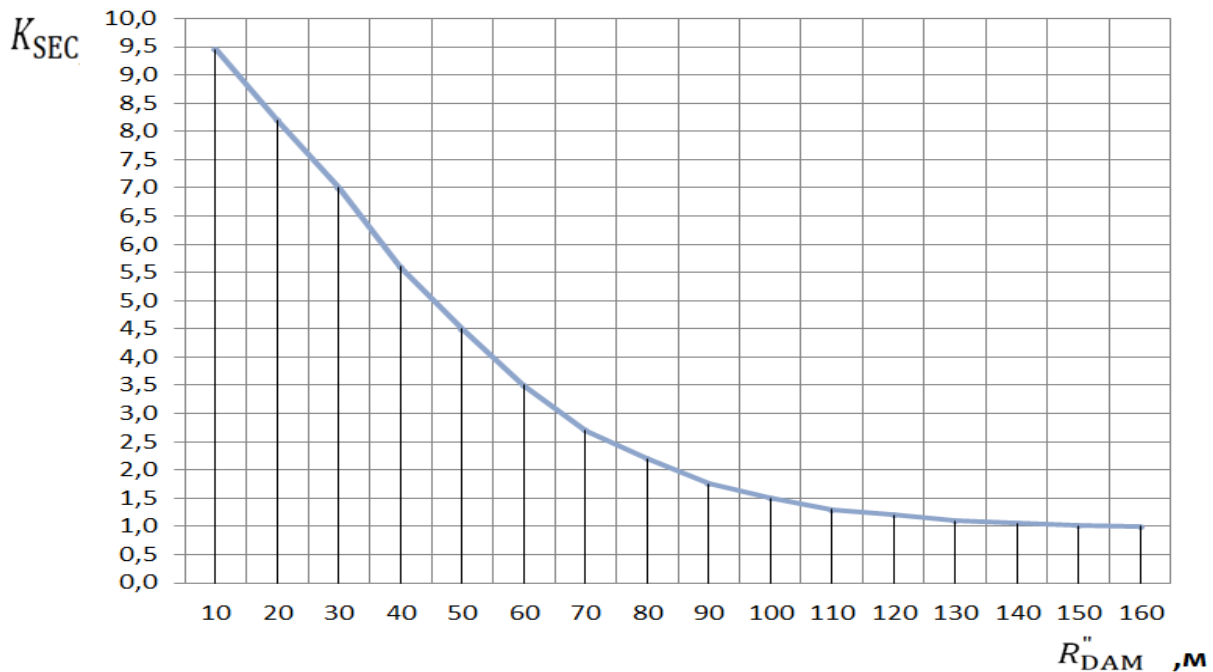
$N_i$  – частка особового складу (техніки, озброєння), які знаходяться в спорудах  $i$ -го типу.

Знаючи середнє значення коефіцієнта захищеності, можна прийняти, що об'єкт обладнаний однотипними спорудами, яким властивий коефіцієнт захищеності  $K_{SEC} = K_{SEC_{AVR}}$ . Для цієї умовної споруди по графіках рис. 3 та 4 можна визначити радіус ураження ( $R_{DAM}''$ ) – радіус ураження споруди даного типу від підриву боєприпасу потужністю 1 кт та 1 т відповідно.





**Рисунок 3**– Графік залежності радіуса ураження ( $R''_{DAM}$ ) під час вибуху боєприпасу потужністю 1 (кТ) від коефіцієнту захищеності споруди ( $K_{SEC_{AVR}}$ ).



**Рисунок 4**– Графік залежності радіуса ураження ( $R''_{DAM}$ ) під час вибуху боєприпасу потужністю 1 (т) від коефіцієнту захищеності споруди ( $K_{SEC}$ )

Розрахунковий радіус ураження  $R_{DAM_{SP}}$  від підриву декількох боєприпасів визначається за виразом

$$R_{DAM_{SP}} = R''_{DAM} \sqrt{\sum_{j=1}^n C_j^{\frac{2}{3}}}, \quad (20)$$

де  $n$  – кількість боєприпасів;

$C_j$  – тротильовий еквівалент  $j$ -го боєприпасу.

Тоді живучість об'єкту, обладнаного різномітними спорудами, під час нанесення ураження декількома боєприпасами визначається за виразом

$$Q_{SURV} = 1 - \frac{\pi R_{DAMSP}^2}{S_{OBJ}} P_{DET} = 1 - \frac{\pi (R_{DAM}'' )^2}{S_{OBJ}} P_{DET} \sum_{j=1}^n C_j^{\frac{2}{3}}. \quad (21)$$

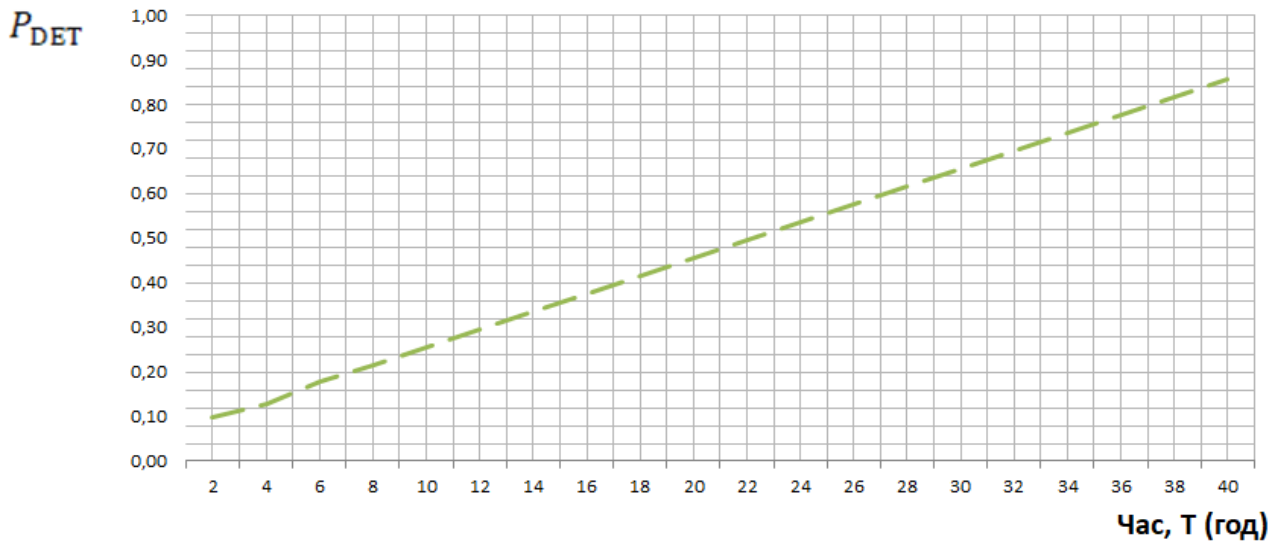


Рисунок 5— Графік зміни в часі показника імовірності виявлення ( $P_{DET}$ )

Адекватність описаної методики ефективності фортифікаційного обладнання проведемо на прикладі.

Припустимо, що вихідними даними для визначення живучості взводного опорного пункту під час нанесення по ньому удару шістьма боєприпасами типу ІСКАНДЕР-М, є:

Потужність  $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C_6 = 0,4$  тони;

А) з виконанням об'єму робіт I – черги за 20 годин;

Б) з виконанням робіт II – черги за 40 годин;

В) з виконанням робіт згідно робочої проектної документації опорного пункту (час зайняття опорного пункту більше ніж 40 годин після завершення будівництва).

Рішення:

А) з виконанням об'єму робіт I – черги під час фортифікаційного обладнання приймаємо наступний розподіл особового складу і техніки по спорудам:

Танки, бойові броньовані машини та вогневі засоби в окопах	– 100%;
Особовий склад в спорудах відкритого типу	– 70 %;
Особовий склад в танках	– 5 %;
Особовий склад в бойових броньованих машинах	– 5 %;
Особовий склад в перекритих щілинах	– 5 %;

Користуючись таблицею 1 визначаємо середнє значення коефіцієнту захищеності

$$K_{SEC_{AVR}} = 0,7 \cdot 1,1 + 0,05 \cdot 1,65 + 0,05 \cdot 1,15 + 0,2 \cdot 1,5 = 1,2$$

За графіком (Рис. 3) визначаємо значення  $R_{DAM}''$  яке відповідає  $K_{SEC_{AVR}} = 1,2$ . Отримуємо  $R_{DAM}'' = 0,130$  км.

За виразом 20 визначаємо приведенний радіус ураження особового складу

$$R_{DAMSP} = R_{DAM}'' \sqrt{\sum_{j=1}^n C_j^{\frac{2}{3}}} = 0,13 \sqrt{6 \cdot 0,4^{\frac{2}{3}}} = 0,2346 \text{ км.}$$

За графіком Рис 5 знаходимо що імовірність виявлення об'єкту (опорного пункту) у випадку знаходження його на місцевості 20 годин дорівнює  $P_{DET} = 0,55$ . Орієнтовна сумарна площа взводного опорного пункту і позицій складає  $S_{OBJ} = 0,480$ .

За виразом 21 визначаємо загальну живучість особового складу розміщеного на опорному пункті

$$Q_{SURV} = 1 - \frac{\pi R_{DAMSP}^2}{S_{OBJ}} P_{DET} = 1 - \frac{\pi(0,2346)^2}{0,48} 0,55 = 0,8018$$

Б) з виконанням робіт II – черги за 40 годин приймаємо наступний розподіл особового складу і техніки по спорудам:

Особовий склад в спорудах відкритого типу	– 5 %;
Особовий склад в танках	– 5 %;
Особовий склад в бойових броньованих машинах	– 5 %;
Особовий склад в перекритих щілинах	– 40 %;
Особовий склад в бліндажах	– 45 %;

$$K_{SEC_{AVR}} = 0,05 \cdot 1,1 + 0,05 \cdot 1,65 + 0,05 \cdot 1,15 + 0,4 \cdot 1,5 + 0,45 \cdot 4,2 = 2,68$$

За графіком (Рис 3) визначаємо значення  $R''_{DAM}$  яке відповідає  $K_{SEC_{AVR}} = 2,68$ .

Отримуємо  $R''_{DAM} = 0,07$  км.

За виразом 20 визначаємо приведений радіус ураження особового складу

$$R_{DAMSP} = R''_{DAM} \sqrt{\sum_{j=1}^n C_j^{\frac{2}{3}}} = 0,07 \sqrt{6 \cdot 0,4^{\frac{2}{3}}} = 0,1263 \text{ км.}$$

У випадку знаходження опорного пункту на місцевості довше 40 годин імовірність виявлення приймається  $P_{DET} = 1$ .

За виразом 21 визначаємо загальну живучість особового складу розміщеного на опорному пункті

$$Q_{SURV} = 1 - \frac{\pi R_{DAMSP}^2}{S_{OBJ}} P_{DET} = 1 - \frac{\pi(0,1263)^2}{0,48} 1 = 0,8955$$

В) з виконанням робіт згідно робочої проектної документації опорного пункту приймаємо наступний розподіл особового складу і техніки по спорудам:

Особовий склад в спорудах відкритого типу	– 5 %;
Особовий склад в танках	– 5 %;
Особовий склад в бойових броньованих машинах	– 5 %;
Особовий склад в перекритих щілинах	– 5 %;
В спорудах закритого типу для ведення вогню з ступенем захисту 1 кг/см <sup>2</sup>	– 30 %;
В спорудах закритого типу для ведення вогню з ступенем захисту 2 кг/см <sup>2</sup>	– 50 %;

$$K_{SEC_{AVR}} = 0,05 \cdot 1,1 + 0,05 \cdot 1,65 + 0,05 \cdot 1,15 + 0,3 \cdot 3,0 + 0,5 \cdot 4,0 = 3,09$$

За графіком (Рис 3) визначаємо значення  $R''_{DAM}$  яке відповідає  $K_{SEC_{AVR}} = 3,09$ . Отримуємо  $R''_{DAM} = 0,065$  км.

За виразом 20 визначаємо приведений радіус ураження особового складу

$$R_{DAM_{SP}} = R''_{DAM} \sqrt{\sum_{j=1}^n C_j^3} = 0,065 \sqrt{6 \cdot 0,4^3} = 0,1173 \text{ км.}$$

Оскільки час зайняття опорного пункту більше ніж 40 годин після завершення будівництва) імовірність виявлення приймається  $P_{DET}=1$ .

За виразом 21 визначаємо загальну живучість особового складу розміщеного на опорному пункті

$$Q_{SURV} = 1 - \frac{\pi R_{DAM_{SP}}^2}{S_{OBJ}} P_{DET} = 1 - \frac{\pi(0,1173)^2}{0,48} = 0,9099.$$

## Висновки

Проведене дослідження показало, що ефективність фортифікаційного обладнання військових об'єктів безпосередньо впливає на їхню живучість та бойову стійкість у сучасних умовах ведення війни. Оцінювання ефективності цих споруд потребує комплексного підходу, який включає використання математичного моделювання, імітаційного аналізу та ймовірнісних методів.

Застосування методів ймовірнісного аналізу, зокрема теорії Лапласа, дозволяє формалізувати процес оцінювання живучості військових об'єктів, розглядаючи ймовірність їхнього збереження під час впливу засобами ураження противника. Врахування ймовірнісного розподілу загроз та можливостей ураження дає змогу оптимізувати рішення, підвищуючи загальну стійкість військових об'єктів. Методика, що ґрунтується на принципах ймовірнісного аналізу, сприяє прийняттю обґрунтованих рішень щодо розміщення та посилення фортифікаційних споруд, що дозволяє мінімізувати ризики ураження особового складу та військової техніки.

Таким чином, розробка і впровадження нових підходів до оцінювання ефективності фортифікаційного обладнання військових об'єктів на основі ймовірнісних методів та інноваційних технологій є необхідною умовою підвищення бойової стійкості військ у сучасних бойових умовах.

## Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

## Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

## Список використаних джерел

1. Pidhorodetskyi M., Ivashchuk O. (2021). Comprehensive methodology for evaluating the effectiveness of measures to increase the survivability of troops (forces) and objects in the defense operation of the group of troops. *Political Science and Security Studies Journal*, 2(4), 58-64. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5914170>.
2. Kotsyuruba V.I., Datsenko I.P., Dachkovsky V.O. Cherevko R.M., Polyulyak V.M., Ivashchuk O.A., Furman I.I. (2020). Influence of air shock wave on shelter. *Materials and Theory of Structures*, 105. 133–144. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2020.105.133-144>.
3. Демідчик Ф.А., Ситник О.В. (2014). Шляхи підвищення ефективності маскування озброєння та військової техніки. Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки, 1 (61),31-42. <https://doi.org/10.32453/3.v61i1>.

4. Шатров А., Гришин В., Ільїна О., Дроль О.(2023). Методичний підхід щодо визначення живучості складних технічних систем військового призначення в умовах бойових дій. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації, 19(26), 116-123. <https://doi.org/10.54858/dndia.2023-19-16>.
5. Voloshchenko O. (2023). Evaluation of the effectiveness of the protection of troops from unmanned aerial vehicles by the forces and means of engineering support. Military Science, 1(1), 71-79. <https://doi.org/10.62524/msj.2023.1.1.07>.
6. Шевченко В.К., Волощенко О.І., Бобрун О.В. (2020) Спосіб визначення величини впливу фортифікаційного обладнання на живучість системи управління військами (силами) в операції (бойових діях). Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони, 37(1), 179–184. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2020-37-1-179-184>.
7. Мегельбей В.В., Лезік О.В., Бабич В.Ю., Роменський Д.С. (2021) Методика оцінювання живучості озброєння зенітного підрозділу (частини). Системи озброєння і військова техніка, 1(65), 36-41. <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.65.05>.
8. Мошковський М.С., Мосійчук С.Я., Колоша С.П., Заєць В.В., Багдасарян Н.К. Аналіз стану живучості арсеналів, баз та складів зберігання ракет і боеприпасів як складної технічної системи. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/22387/OVT-2017-222-227.pdf?sequence=1>.
9. Мурасов Р., Нікітін А., Мещеряков І., Підгородецький М., Поплавець С. (2023). Методика оцінювання загроз і ризиків для об'єктів критичної інфраструктури за сценаріями розвитку надзвичайних ситуацій. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони, 48(3), с. 35–43. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2023-48-3-35-43>.
10. Мурасов Р., Нікітін А., Мещеряков І., Підгородецький М., Поплавець С. (2024). Удосконалення науково-методичного апарату обчислення ризиків виникнення та аналізу сценаріїв надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури. Social Development & Security, 14(1), 205-217. <https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.1.17>.
11. Kustov M., Fedoryaka O., Kononovych V., Khalmuradov B., Borodych P., Kurtseitov T., Nikitin A., Romaniuk V., Meshcheriakov I., & Veretennikova J. (2023). Level of fire danger of the local territory. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(10 (122)), 31–38. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276653>.
12. Бойовий статут механізованих і танкових військ сухопутних військ Збройних Сил України. Частина III Взвод, відділення, екіпаж. Затверджено наказом командувача Сухопутних військ Збройних Сил України від 25.05.2016 № 238. URL: <https://ivms.mil.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/bojovyi-statut-ch.3.pdf>.
13. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами. (1979). Наука. URL: <https://djuv.online/file/f8tw4jsnEOvxd>.

## References

1. Pidhorodetskyi M., & Ivashchuk O. (2021). Comprehensive methodology for evaluating the effectiveness of measures to increase the survivability of troops (forces) and objects in the defense operation of the group of troops. Political Science and Security Studies Journal, 2(4), 58-64. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5914170>.
2. Kotsyuruba V.I., Datsenko I.P., Dachkovsky V.O. Cherevko R.M., Polyulyak V.M., Ivashchuk O.A., & Furman I.I. (2020). Influence of air shock wave on shelter. Materials and Theory of Structures, 105. 133–144. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2020.105.133-144>.
3. Demidchuk F.A., & Sytnyk O.V. (2014). Ways to increase the effectiveness of camouflage of weapons and military equipment. Collection of scientific papers of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine. Series: Military and Technical Sciences, 1 (61), 31-42. <https://doi.org/10.32453/3.v61i1>.

4. Shatrov A., Grishin V., Ilyina O., Drol O. (2023). Shatrov A., Grishin V., Ilyina O., & Drol O. (2023). Methodical approach to determining the survivability of complex technical systems for military purposes in combat conditions. Collection of scientific papers of the State Research Institute of Aviation, 19(26), 116-123. <https://doi.org/10.54858/dndia.2023-19-16>.
5. Voloshchenko O. (2023). Evaluation of the effectiveness of the protection of troops from unmanned aerial vehicles by the forces and means of engineering support. Military Science, 1(1), 71-79. <https://doi.org/10.62524/msj.2023.1.1.07>.
6. Shevchenko V.K., Voloshchenko O.I., & Bobrun O.V. (2020) Method for determining the magnitude of the impact of fortification equipment on the survivability of the command and control system of troops (forces) in an operation (combat operations). Modern Information Technologies in Security and Defense, 37(1), 179–184. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2020-37-1-179-184>.
7. Megelbey V.V., Lezik O.V., Babych V.Yu., & Romenskyi D.S. (2021) Methods for assessing the survivability of anti-aircraft unit (unit) weapons. Weapons Systems and Military Equipment, 1(65), 36-41 <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.65.05> [Accessed 1.02.2025].
8. Moshkovskiy M.S., Mosiychuk S.Ya., Kolosha S.P., Zayets V.V., Bagdasaryan N.K. Analysis of the state of survivability of arsenals, bases and warehouses for storage of missiles and ammunition as a complex technical system. Available from : <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/22387/OVT-2017-222-227.pdf?sequence=1>.
9. Murasov R., Nikitin A., Meshcheriakov I., Pidhorodetsky M., & Poplavets S. (2023). Methodology for assessing threats and risks for critical infrastructure objects under emergency development scenarios. Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence, 48(3), 35–43. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2023-48-3-35-43>.
10. Murasov R., Nikitin A., Meshcheriakov I., Pidhorodetskyi M., & Poplavets S. (2024). Improvement of the scientific and methodological apparatus for calculating the risks of occurrence and analyzing scenarios of emergency situations at critical infrastructure facilities. Social Development & Security, 14(1), 205-217. <https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.1.17>.
11. Kustov M., Fedoryaka O., Kononovych V., Khalmuradov B., Borodych P., Kurtseitov T., Nikitin A., Romaniuk V., Meshcheriakov I., & Veretennikova J. (2023). Level of fire danger of the local territory. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(10 (122)), 31–38. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276653>.
12. Combat regulations of mechanized and tank troops of the Land Forces of the Armed Forces of Ukraine. Part III Platoon, detachment, crew. Approved by order of the Commander of the Land Forces of the Armed Forces of Ukraine dated 25.05.2016 No. 238. Available from : <https://ivms.mil.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/bojovyj-statut-ch.3.pdf>.
13. A reference to special functions with formulas, graphs, and mathematical tables. (1979). Science. Available from : <https://djuv.online/file/f8tw4jsnEOvxd>.