

В.І. Коцюрба<sup>1</sup>, В.І. Кривцун<sup>2</sup><sup>1</sup>Національний університет оборони України ім. І. Черняхівського, Київ<sup>2</sup>Національна академія Сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного, Львів

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ БОЙОВОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ БЛОЧНОЇ ЗАГОРОДЖУВАЛЬНОЇ ПЕРЕШКОДИ

Розглянуто математичну модель визначення бойового функціонування блочної загороджувальної перешкоди із міцних матеріалів, яка використовується на блок-постах і контрольно-перепускних пунктах, підрозділів, що займають оборону в районах ведення бойових дій. Математична модель, на відміну від існуючих, враховує ймовірність виходу з ладу вогневих засобів противника внаслідок ураження під час зустрічного вогневого впливу підрозділами, що обороняються і використовують блочні загороджувальні перешкоди, та ймовірність відновлення боєдатного стану вогневих засобів противника. Запропонована математична модель ґрунтується на використанні напівмарківських процесів.

**Ключові слова:** блочна загороджувальна перешкода, засоби руйнування, напівмарківський процес, математична модель.

### Вступ

**Постановка проблеми.** В галузі воєнно-інженерної справи одним із найбільш складних проблемних питань сьогодення є забезпечення живучості важливих об'єктів [1–2], що обороняються військами в районах ведення бойових дій. До таких об'єктів, крім інших, належать мости, шляхопроводи, базові райони, блок-пости, контрольно-перепускні та контрольні пункти в'їзду (виїзду), тощо. Забезпечення живучості вказаних об'єктів досягається комплексним виконанням заходів з фортифікаційного обладнання та улаштування і утримання інженерних загороджень [3]. Одним із оперативних та ефективних шляхів досягнення мети виконання цих заходів досі залишається застосування блочних загороджувальних перешкод із міцних матеріалів. Блочні загороджувальні перешкоди володіють захисними та загороджувальними властивостями і є альтернативним засобом у складних ґрунтових умовах та в умовах обмеження застосування мінно-вибухових загороджень.

З бурхливим розвитком засобів ближнього та дальнього вогневого ураження в арміях провідних, у військовому відношенні, країн світу загострилося проблемне питання, щодо забезпечення достатньої ефективності прикриття блочною загороджувальною перешкодою не тільки блок-постів [4], а і контрольно-перепускних пунктів. Останнім часом підвищення вимог до блочних загороджувальних перешкод обумовилося поширенням застосування бетонобійних боеприпасів для дистанційного руйнування фортифікаційних споруд та елементів невибухових загороджень з метою зниження стійкості та активності оборони. При цьому, раціональні функціональні параметри блочної загороджувальної перешкоди повинні

визначатись шляхом моделювання процесу впливу на них вогневих засобів противника. Спроможністю підрозділів, що обороняються і використовують блочні загороджувальні перешкоди, щодо ураження вогневих засобів противника під час зустрічного вогневого впливу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** [5–9] показав, що в цілому для моделювання процесу забезпечення живучості об'єктів із використанням блочної загороджувальної перешкоди існує нагальна потреба розробки комплексної моделі її бойового функціонування. При цьому, наголошується про потребу обґрунтування потрібних часових показників бойового функціонування блочної загороджувальної перешкоди як системи, що забезпечує зниження втрат під час вогневого впливу противника та прихованість бойових підрозділів в ході ведення бойових дій.

**Мета статті** – розроблення математичної моделі процесу бойового функціонування блочної загороджувальної перешкоди, для узагальнення якої використано напівмарківський процес.

### Виклад основного матеріалу

У загальному підході постановка задачі щодо моделювання бойового функціонування блочної загороджувальної перешкоди може бути здійснена у такий спосіб. Нехай процес бойового функціонування блочної загороджувальної перешкоди описується за допомогою деякої фізичної системи  $S$ , яка може перебувати в одному із наступних станів:  $S_1$  – засіб руйнування (ЗР) розгорнуто, підготовлено до пострілу;  $S_2$  – ЗР здійснює дорозвідку об'єкту, який прикритий блочною загороджувальною перешко-

дою, цілевказівки та пострілу;  $S_3$  – ЗР влучив ударним елементом (УЕ) в блочну загороджувальну перешкоду;  $S_4$  – ЗР не влучив ударним елементом (УЕ) в блочну загороджувальну перешкоду;  $S_5$  – УЕ зруйновано блочну загороджувальну перешкоду;  $S_6$  – УЕ не зруйновано блочну загороджувальну перешкоду;  $S_7$  – ЗР витрачено боєкомплект УЕ;  $S_8$  –

ЗР поповнено боєкомплект УЕ;  $S_9$  – ЗР втратив спроможність виконувати завдання згідно з бойовим призначенням внаслідок зустрічного вогневого впливу. Орієнтований граф переходів системи  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_9\}$  з одного стану в інший під час вогневого зіткнення наведено на рис. 1.

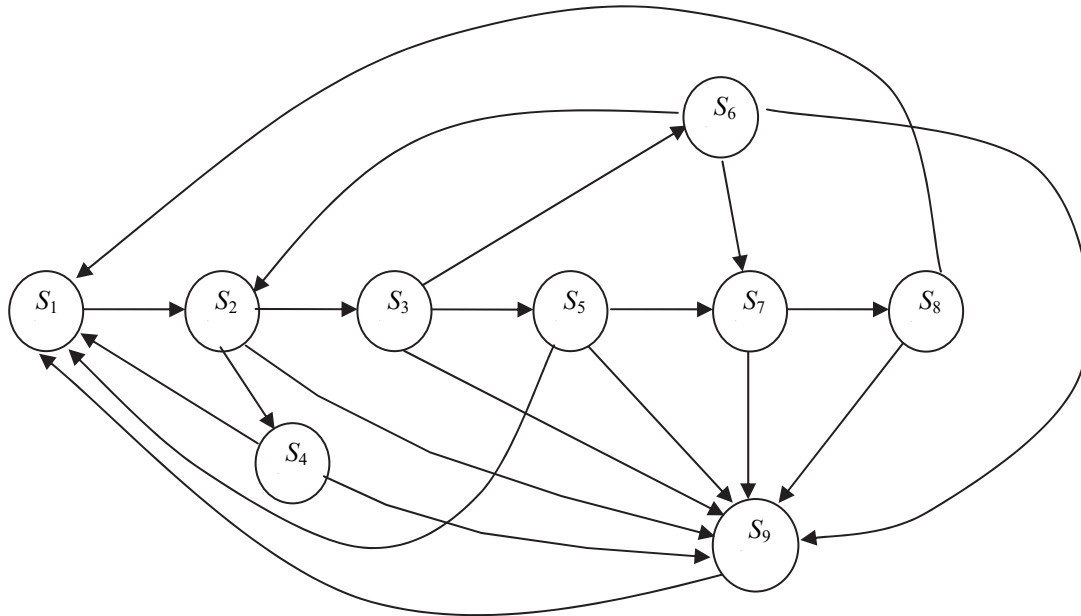


Рис. 1. Орієнтований граф станів процесу функціонування блочної загороджувальної перешкоди

Для визначення показників ефективності бойового функціонування блочної загороджувальної перешкоди, як системи  $S$  оцінимо ймовірність її перебування у момент часу  $t$  в одному із станів  $S_i$  при умові, що у початковий момент часу система перебувала у стані  $S_j$  ( $i, j = 1, 2, \dots, 9$ ).

Як відомо, аналогічна задача розглядалася у роботі [9], де моделювання функціонування воєнно-інженерних споруд запропоновано проводити за допомогою марковського процесу із дискретною множиною станів та безперервним часом.

На відміну від роботи [9], для блочної загороджувальної перешкоди будемо вважати, що перехід системи  $S$  із одного стану в інший відбувається наступним чином:

1) у початковий момент часу  $t = 0$  система перебуває у стані  $S_1$  деякий випадковий час  $Q_1$  (відлік часу починається з моменту початку бойового застосування ЗР).

Тобто це час, який система  $S$  перебуває у стані  $S_1$  до переходу у стан  $S_2$  з довільною функцією розподілу  $F_{12}(t)$ ;

2) перехід системи  $S$  зі стану  $S_i$  у стан  $S_j$

відбувається з ймовірністю  $p_{ij} \geq 0$ ,  $\sum_{j \in S} p_{ij} = 1$

для  $j \in S$ ;

3) якщо зі стану  $S_i$  відбувся перехід у стан  $S_j$ , то в цьому стані система перебуває випадковий час  $Q_i$  із довільною функцією розподілу  $F_{ij}(t)$ , тощо.

Тоді згідно [10], математичною моделлю, яка описує процес бойового функціонування системи, є напівмарківський процес  $\{v(t), t \geq 0\}$ . Виходячи із [10], цей процес задамо конструктивно за допомогою початкового розподілу:

$$p = \{p_i, i \in S\} \quad (i = 1, 2, \dots, 10), \quad (1)$$

напівмарківської матриці:

$$Q_{ij}(t) = p_{ij} F_{ij}(t) = P_i \{v(t) = S_j, Q_{ij} \leq t\}. \quad (2)$$

Тоді розв'язання задачі зводиться до визначення ймовірностей

$$P_{ij}(t) = P_i \{v(t) = S_j / v(0) = S_i\} \quad (i, j = 1, 2, \dots, 10), \quad (3)$$

які згідно із [10] відповідають наступній системі лінійних інтегральних рівнянь:

$$P_{ij}(t) = \delta_{ij} [1 - F_i(t)] + \sum_{k \in S} \int_0^t Q_{ik}(du) P_{kj}(t-u), \quad (4)$$

$$F_i(t) = \sum_j Q_{ij}(t) = \sum_j p_{ij} F_{ij}(t) = P_i(\theta_i < t),$$

$$\text{де } \delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j, \\ 0, & i \neq j. \end{cases}$$

$\theta_i$  – час перебування системи  $S$  у стані  $S_i$  незалежно від переходу в наступний стан.

Приймаючи до уваги орієнтований граф переходів системи  $S$  (рис. 1), виникає можливість із використанням (4) визначити шукані ймовірності того, що напівмарківський процес  $v(t)$  перебуває у стані  $S_j$  за умови, що час перебування менший ніж  $t$ .

Слід також відмітити, що у відповідності до умов задачі стан  $S_9$  інтерпретується, як втрата боєздатності ЗР, тобто потрапляння системи  $S$  до визначеного стану на різних етапах функціонування. Це призводить до невиконання поставленого бойового завдання ЗР, щодо зруйнування блочної загороджувальної перешкоди.

Позначимо момент першого потрапляння системи  $S$  до стану  $S_9$  через  $\eta$ , тоді:

$$P_{i9}(\eta < t) = P_{i9}(t), \quad (i = 2, 3, \dots, 9), \quad (5)$$

це ймовірність того, що ЗР втратив боєздатність, де  $\eta$  – час, потрібний для виведення ЗР у небоєздатний стан (наприклад: час, який потрібен підрозділам, що

обороняються та прикриваються блочною загороджувальною перешкодою, для виявлення та нанесення вогневого ураження ЗР противника).

Відновлення боєздатного стану відповідає переходу системи зі стану  $S_9$  до  $S_1$ . Ймовірність відновлення боєздатного стану ЗР визначається як:

$$P_{91}(t) = P_9 \{v(t) = S_1 / v(0) = S_9\}. \quad (6)$$

## Висновки

Таким чином, співвідношення (4–6) та напівмарківська матриця (2) дозволяють дати відповіді на цілу низку питань відносно бойового функціонування системи, зокрема щодо часу перебування у відповідній множині станів, часу бойового функціонування вогневих засобів противника до моменту втрати ним боєздатного стану та блочної загороджувальної перешкоди до моменту її зруйнування. Відмітимо також, якщо час перебування системи  $S$  у кожному стані  $S_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, 9$ ) буде розподілено за показовим законом, тоді із розглянутих у статті співвідношень витікають формули для розрахунку ймовірностей, які одержані в роботі [9]. Отже, залишається визначитись із законом розподілу часу перебування системи  $S$  у кожному із можливих станів  $S_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, 9$ ), що й може бути напрямком подальших досліджень.

## Список літератури

1. Постанова Кабінету Міністрів України “Про Програму забезпечення живучості та вибухопожежобезпеки арсеналів, баз і складів озброєння, ракет і боєприпасів Збройних Сил України на 1995 - 2015 роки № 472 від 28 червня 1995 р.” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/472-95-p>.
2. Офіційний сайт МО України. Якість системи забезпечення живучості баз, складів і арсеналів ЗС України планово покращується. Режим доступу: <http://www.mil.gov.ua/news/2018/02/13/yakist-sistemi-zabezpechennya-zhivuchosti-baz-skladiv-i-arsenaliv-zs-ukraini-planovo-pokrashhuetsya/>.
3. Адамчук О.В. Основні положення організації служби прикордонних нарядів у контрольних пунктах в'їзду-виїзду на тимчасово окуповану територію України / О.В. Адамчук, Б.М. Олексієнко // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. – 2016. – № 1(67). – С. 6-16.
4. Офіційний сайт RMCLVIV – медіа-центр МО України. Блок-пост. Недовіра – ваш робочий інструмент. Режим доступу: <https://rmclviv.wordpress.com>.
5. Ковтун А.В. Експериментальні дослідження параметрів блочної багатоярусної загороджувальної перешкоди при моделюванні процесу припинення порушень громадського порядку / А.В. Ковтун, О.В. Іванченко, О.І. Шаповалов // Збірник наукових праць Академії Внутрішніх військ МВС України. – 2008. – № 1(11). – С. 54-58.
6. Методика оцінки стану живучості та вибухопожежобезпеки військових потенційно небезпечних об'єктів / О.В. Чернозубенко, А.Н. Абрамсон, М.С. Мошковський, А.М. Бабич // Озброєння та військова техніка. – 2014. – № 2. – С. 34-37.
7. Орлов М.М. Способи дій внутрішніх військ під час припинення масових протистоянь громадян у разі виникнення міжетнічного конфлікту / М.М. Орлов, В.В. Халеп, О.І. Шаповалов // Честь і закон. – 2014. – № 2(49). – С. 20-27.
8. Катеринчук І.С. Застосування блочної загороджувальної перешкоди у разі виникнення внутрішніх загроз національній безпеці // І.С. Катеринчук, О.І. Шаповалов // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. – 2018. – № 2(76). – С. 256-271.
9. Юрков Б.Н. Исследование операций / Б.Н. Юрков. – М.: ВИА, 1990. – 528 с.
10. Королюк В.С. Полумарковские процессы и их приложения / В.С. Королюк, А.Ф. Турбин. – К.: Наук. думка, 1976. – 184 с.

## References

1. The Rezolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine (2010), “Pro Prohramu zabezpechennya zhyvuchosti ta vybukhopozhezhobezpeky arsenaliv, baz i skladiv ozbroyennya, raket i boyepry-pasiv Zbroynykh Syl Ukrayiny na 1995 - 2015 roky №472 vid 28 chervnya 1995” [About the Program of providing survivability and explosion protection of arsenals, bases and depots of arms, missiles and ammunition of the Armed Forces of Ukraine for 1995 - 2015 №472 of June 28, 1995], available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/472-95-p>.
2. Official site of the Ministry of Defense of Ukraine (2018), “Yakist' systemy zabezpechennya zhyvuchosti baz, skladiv i arsenaliv ZS Ukrayiny planovo pokrashchuyet'sya” [The quality of the system of ensuring the survivability of bases, warehouses and arsenals of the Armed Forces of Ukraine is being improved regularly], available at: <http://www.mil.gov.ua/news/2018/02/13/yakist-sistemi-zabezpechennya-zhivuchosti-baz-skladiv-i-arsenaliv-zs-ukraini-planovo-pokrashhuetsya/>.
3. Adamchuk, O.V. and Oleksiyenko, B.M. (2016), “Osnovni polozhennya orhanizatsiyi sluzhby prykordonnykh naryadiv u kontrol'nykh punktakh vyizdu-vvyizdu na tymchasovo okupovanu terytoriyu Ukrayiny” [Main provisions of organization of border guards service at checkpoints of entry-exit to the temporarily occupied territory of Ukraine], *Collection of Scientific Papers of the National Academy of State Border Guard Service of Ukraine*, No. 1(67), pp. 6-16.
4. The official site of RMCLVIV – the media center of the Ministry of Defense of Ukraine, “Blok-post. Nedovira – vash robochyy instrument” [Post. Distrust is your working tool] available at: <https://rmlclviv.wordpress.com> (accessed 8 November 2018).
5. Kovtun, A.V., Ivanchenko, O.V. and Shapovalov, A.I. (2008), “Eksperymental'ni doslidzhennya parametriv blochnoyi bahatoyarusnoyi zahorodzhuval'noyi pereshkody pry modelyuvanni protsesu prypynennya porushen' hromads'koho poryadku” [Experimental investigations of the parameters of a block multilevel barrier obstacle in modeling the process of termination of public order violations], *Collection of Scientific Works of the Academy of Internal Troops of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine*, No. 1(11), pp. 54-58.
6. Chernozubenko, O.V., Abramson, A.N., Moshkovs'kyi, M.S. and Babych, A.M. (2014), “Metodyka otsinky stanu zhyvuchosti ta vybukhopozhezhobezpeky viys'kovykh potentsiyno nebezpechnykh ob'ektiv” [Methods for assessing the state of survivability and explosion of military potentially dangerous objects], *Weapons and Military Equipment*, No. 2, pp. 34-37.
7. Orlov, M.M., Khalep, V.V. and Shapovalov, A.I. (2014), “Sposoby diy vnutrishnikh viys'k pid chas prypynennya masovykh protystoyan' hromadyan u razi vynyknennya mizhetnichnoho konfliktu” [Methods of action of internal troops in the termination of mass confrontations of citizens in case of inter-ethnic conflict], *Honor and the Law*, No. 2(49), pp. 20-27.
8. Katerynchuk, I.S. and Shapovalov, A.I. (2018), “Zastosuvannya blochnoyi zahorodzhuval'noyi pereshkody u razi vynyknennya vnutrishnikh zahroz natsional'niy bezpetsi” [Application of block barrier in case of internal threats to national security], *Collection of Scientific Papers of the National Academy of State Border Guard Service of Ukraine*, No. 2(76), pp. 256-271.
9. Yurkov, B.N. (1990), “Operatsiyi doslidzhennya” [Operational research], VIA, Moscow, 528 p.
10. Korolyuk, V.S. and Turbiny, A.F. (1976), “Napivmarkivs'ki protsesy ta yikh zastosuvannya” [Semi-Markov Processes and Their Applications], Scientific Thought, Kyiv, 184 p.

Надійшла до редколегії 08.04.2019

Схвалена до друку 21.05.2019

**Відомості про авторів:****Коцюруба Володимир Іванович**

доктор технічних наук доцент  
професор кафедри  
Національного університету  
оборони України ім. І. Черняхівського,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-6565-9576>

**Кривцун Володимир Іванович**

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
начальник кафедри Національної  
академії сухопутних військ  
ім. гетьмана П. Сагайдачного,  
Львів, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-3907-5320>

**Information about the authors:****Volodymyr Kotsiuruba**

Doctor of Technical Sciences Associate Professor  
Professor of Department  
of Ivan Chernyakhovsky  
National Defense University of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-6565-9576>

**Volodymyr Krivtsun**

Candidate of Technical Sciences  
Senior Research  
Head of Department  
of Hetman Petro Sahaidachnyi  
National Army Academy,  
Lviv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-3907-5320>

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БОЕВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЛОЧНОГО ЗАГРАДИТЕЛЬНОГО ПРЕПЯТСТВИЯ**

В.И. Коцюрuba, В.И. Кривцун

*Рассмотрена математическая модель определения боевого функционирования блочного заградительного препятствия из прочных материалов, которая используется на блок-постах и контрольно-пропускных пунктах подразделениями занимающими оборону в районах ведения боевых действий. Математическая модель, в отличие от существующих, учитывает вероятность выхода из строя огневых средств противника в результате поражения во время встречного огневого воздействия подразделениями обороняющихся с использованием блочных заградительных препятствий и вероятность восстановления боеспособного состояния огневых средств противника. Предложенная математическая модель основывается на использовании полумарковских процессов.*

**Ключевые слова:** блочное заградительное препятствие, средства разрушения, полумарковский процесс, математическая модель.

**MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE BATTLE FUNCTIONING OF A BLOCK PROTECTION OBSTACLE**

V. Kotsiuruba, V. Krivtsun

*To ensure the vitality of important objects, such as bridges, overpasses, base areas, roadblocks, checkpoints, entry and exit points, and others, the complex implementation of measures for fortification equipment and arrangement and maintenance of engineering barriers is achieved. One of the fastest and most effective ways to achieve the goal of these measures is to use block barriers made of durable materials. Block barriers have protective and barrier properties and are an alternative tool in difficult soil conditions and in conditions of limiting the use of mine and explosion barriers. The modeling of the process of influence on the block barrier obstruction of enemy firearms and the capabilities of the units defending and using it to defeat enemy firearms during counter fire, as well as the restoration of the combat state of enemy firearms after failure. The mathematical model on the influence of enemy firearms, mainly of shock type, is presented with the purpose of destroying block barriers from durable materials at roadblocks and checkpoints occupying units defending them in combat areas. The mathematical model, in contrast to the existing ones, takes into account the probability of failure of enemy firearms due to the impact of counter defense units and using block barriers during the counter fire, and the probability of restoration of the enemy state of firearms. The proposed mathematical model is based on the use of semi-Markov processes. The mathematical model given in the article allows to answer a number of questions concerning the combat functioning of the system, in particular, regarding the time of staying in the corresponding set of states, the time of combat functioning of the enemy's firearms until the moment of their combat state loss and block obstacle until its destruction.*

**Keywords:** block barrier; means of destruction; mathematical model.