

# Удосконалена математична модель вогневого ураження артилерійських підрозділів противника ракетними військами і артилерією в операції

## An improved mathematical model of fire damage to enemy artillery units by missile forces and artillery in operations

Роман Шевцов \* A

Roman Shevtsov \* A

\*Corresponding author: ад'юнкт, e-mail: r\_19821219@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2683-7525

\*Corresponding author: postgraduate student, e-mail: r\_19821219@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2683-7525

<sup>A</sup> Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, м. Київ, Україна<sup>A</sup> National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine

Received: December 25, 2022 | Revised: February 18, 2023 | Accepted: February 28, 2023

DOI: 10.33445/sds.2023.13.1.2

**Мета роботи:** удосконалення існуючої математичної моделі вогневого ураження артилерійських підрозділів противника, які інтегровані в розвідувально-вогневу систему, з урахуванням особливостей функціонування елементів її підсистем та взаємозв'язків між ними.

**Дизайн/Метод:** основними методами дослідження є метод системного аналізу та метод динаміки середніх.

**Результати дослідження:** запропонована удосконалена математична модель дозволяє визначити чисельні значення показників ефективності вогневого ураження артилерійських підрозділів противника ракетними військами і артилерією в операції, а також оцінити прогнозний збиток, нанесений противнику унаслідок їх ураження з урахуванням виділеного ресурсу вогневих засобів та боєприпасів.

**Теоретична цінність дослідження:** основними результатами досліджень за тематикою статті є удосконалення науково-методичного апарату оцінювання ефективності вогневого ураження артилерійських підрозділів противника ракетними військами і артилерією в оборонній операції. Дана модель може бути використана для удосконалення методики оцінювання ефективності вогневого ураження артилерійських підрозділів противника засобами ракетних військ і артилерії в операції.

**Тип статті:** науково-теоретична.

**Purpose:** improvement of the existing mathematical model of the fire damage of the enemy's artillery units, which are integrated into the reconnaissance-fire system, taking into account the peculiarities of the functioning of the elements of its subsystems and the relationships between them.

**Design/Method/Approach:** the main methods of research are the method of system analysis and the method of average dynamics.

**Findings:** the proposed improved mathematical model allows to determine the numerical values of the indicators of the effectiveness of fire damage of the enemy's artillery units by missile troops and artillery in the operation, as well as to estimate the forecast damage caused to the enemy as a result of their damage, taking into account the allocated resource of fire means and ammunition.

**Theoretical implications:** the main results of the research on the topic of the article are the improvement of the scientific and methodological apparatus for evaluating the effectiveness of fire damage to enemy artillery units by missile troops and artillery in a defensive operation. This model can be used to improve the methodology for assessing the effectiveness of fire damage to enemy artillery units by means of missile troops and artillery in operations.

**Papertype:** scientific and theoretical article.

**Ключові слова:** математична модель, артилерія, вогневе ураження, розвідувально-вогнева система.

**Key words:** mathematical model, artillery, fire damage, reconnaissance and fire system.

### 1. Вступ

Розвиток цифрових технологій обумовив інтеграцію засобів розвідки і ураження у розвідувально-вогневі (розвідувально-ударні) системи (РВС) [1, 2], вогневою основою яких є артилерійські підрозділи [3, 4]. Така інтеграція сприяла підвищенню ефективності вогневого впливу зі сторони противника, а також ускладнила протидію його артилерії [5]. Складність протидії викликана можливістю вибору противником найбільш придатних засобів для виконання вогневих завдань, можливістю зміни каналів управління та використанням різних джерел розвідки [6].

## **2. Теоретичні основи дослідження**

Аналіз досліджень і публікацій з даного питання показав, що питанню вогневого ураження артилерійських підрозділів противника присвячена значна кількість праць, зокрема [7-9]. В роботах [10-12] надається науково-методичний апарат оцінювання ефективності вогневого ураження противника (ВУП) засобами ракетних військ і артилерії (РВ і А) в операціях. Разом з тим, розглянуті науково-методичні підходи не можуть у повному обсязі задовольнити вирішення задачі оцінювання ефективності вогневого ураження артилерійських підрозділів противника засобами РВ і А в сучасних умовах. Проте, окремі з них можуть бути використані в ході удосконалення однієї з існуючих методик оцінювання ефективності вогневого ураження об'єктів противника.

## **3. Постановка проблеми**

Результати аналізу існуючого науково-методичного апарату оцінювання ефективності вогневого ураження [10-12] свідчать, що наявні у них математичні моделі не передбачають врахування зв'язків між підсистемами, що існують в сучасних розвідувально-вогневих системах. Отже виникає необхідність удосконалення математичної моделі, що дозволить визначити значення обґрунтованих у [13, 14] показників ефективності ураження артилерійських підрозділів противника в сучасних умовах.

## **4. Результати**

Математична модель процесу вогневого ураження артилерійських підрозділів противника РВ і А в операції в дослідженні – це формальне співвідношення, яке встановлює зв'язок основного показника ефективності, прийнятого в [14], з прийнятим рішенням щодо кількості, типів і порядку ураження артилерійських підрозділів в межах визначеного ресурсу [15].

У статті запропоновано математичну модель вогневого ураження артилерійських підрозділів противника РВ і А, що базується на методі динаміки зміни середньої чисельності (динаміки середніх) функціональних елементів підсистем РВС протидіючих сторін, що розглядаються як основні бойові елементи (ОБЕ), і дозволяє визначити величину основного показника ефективності вогневого ураження артилерійських підрозділів противника РВ і А з урахуванням особливостей функціонування елементів основних підсистем РВС та зв'язків між ними.

Для спрощення моделі вогневої протидії сторін цикл діяльності РВС подано у вигляді процедур циклу Бойда – СОПД (спостереження, орієнтування, рішення, дія) [16, 17], для цього визначено основні стани ОБЕ сторін та інтенсивності переходів у ці стани (рис. 1). Для формалізації процесу ураження прийняті наступні припущення:

1. У вогневій протидії приймають участь РВС сторін. Підсистеми РВС характеризуються: ураження – кількістю ОБЕ сторін та періодом ураження, розвідки – інтенсивністю виявлення об'єктів протидіючої РВС, управління – швидкістю прийняття рішень щодо ураження, забезпечення – можливостями забезпечення боєприпасами певної кількості ОБЕ.

2. Вогневе ураження здійснюється по окремому ОБЕ протидіючої сторони (цілі). За один вогневий цикл не можливо уразити більше одного ОБЕ протидіючої сторони.

3. Тривалість вогневого циклу, що здійснює ОБЕ, визначається умовами виконання завдань з ураження.

4. Вогневому ураженню піддається з однаковою імовірністю будь який з ще неуразених ОБЕ.

5. Після ураження ОБЕ вогонь по ньому припиняється і, по мірі виявлення, переноситься на наступний ОБЕ.

6. Уражений ОБЕ припиняє діяльність і в подальших бойових діях участі не приймає.

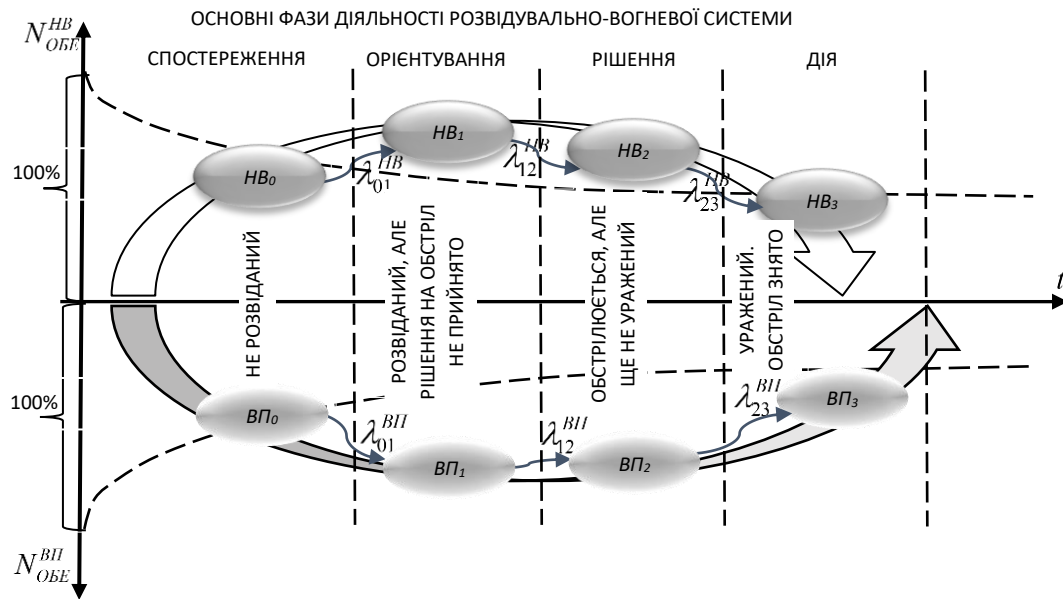


Рисунок 1 – Граф станів ОБЕ протидіючих сторін

У моделі прийнято наступні позначення:  $N_{ОБЕ}^{HB}$ ,  $N_{ОБЕ}^{BP}$  – початкова кількість умовно-однорідних елементів підсистем РВС наших військ (HB) та військ противника (BP) приведених до ОБЕ; кожен ОБЕ сторін може знаходитись у наступних станах  $HB_0$  ( $BP_0$ ) – не розвіданий,  $HB_1$  ( $BP_1$ ) – розвіданий, але рішення на обстріл не прийнято,  $HB_2$  ( $BP_2$ ) – обстрілюється, але ще не уражений,  $HB_3$  ( $BP_3$ ) – уражений, обстріл знято;  $\lambda_{ij}^{HB}$ , ( $\lambda_{ij}^{BP}$ ) – інтенсивності потоків подій, що переводять ОБЕ наших військ (військ противника) зі стану в стан.

За допомогою поданих станів ОБЕ, визначених інтенсивностей та з застосуванням принципу квазірегулярності [18], замінивши чисельності станів ОБЕ сторін їх середніми значеннями ( $m$ ) та записавши рівняння динаміки протидії РВС сторін для зазначених умов у вигляді двох подібних, відносно незалежних систем диференціальних рівнянь для наших військ і військ противника отримаємо рівняння динаміки протидії для наших військ у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dm_0^{HB}}{dt} &= -\lambda_{01}^{HB} m_0^{HB} \\ \frac{dm_1^{HB}}{dt} &= -\lambda_{12}^{HB} m_1^{HB} + \lambda_{01}^{HB} m_0^{HB} \\ \frac{dm_2^{HB}}{dt} &= -\lambda_{23}^{HB} m_2^{HB} + \lambda_{12}^{HB} m_1^{HB} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Рівняння для середніх чисельностей станів  $m_3^{HB}$ , не розглянуті, так як для будь якого моменту  $t$  їхнє значення буде дорівнювати  $m_3^{HB} = N^{HB} - (m_0^{HB} + m_1^{HB} + m_2^{HB})$ .

Рішення системи рівнянь (1) при відомих початкових умовах дозволяє подати аналітичні вирази для середніх чисельностей ОБЕ у відповідних станах.

В дослідженні прийнято, що на початок вогневого протистояння сторін всі ОБЕ будуть не розвіданими і дорівнювати їх початковій кількості:  $m_0^{HB} = N^{HB}$ ,  $m_1^{HB} = m_2^{HB} = m_3^{HB} = 0$ . При таких початкових умовах аналітичні вирази для середніх чисельностей ОБЕ наших військ матимуть вигляд:

$$\begin{aligned}
m_0^{HB}(t) &= C_1 e^{-\lambda_{01}^{HB} t}; \\
m_1^{HB}(t) &= \frac{\lambda_{01}^{HB}}{\lambda_{12}^{HB} - \lambda_{01}^{HB}} C_1 e^{-\lambda_{01}^{HB} t} + C_2 e^{-\lambda_{12}^{HB} t}; \\
m_2^{HB}(t) &= \frac{\lambda_{12}^{HB} \lambda_{01}^{HB}}{(\lambda_{12}^{HB} - \lambda_{01}^{HB})(\lambda_{23}^{HB} - \lambda_{01}^{HB})} C_1 e^{-\lambda_{01}^{HB} t} + \frac{C_2}{\lambda_{23}^{HB} - \lambda_{12}^{HB}} e^{-\lambda_{12}^{HB} t} + C_3 e^{-\lambda_{23}^{HB} t}; \\
m_3^{HB} &= N^{HB} - (m_0^{HB} + m_1^{HB} + m_2^{HB}).
\end{aligned}$$

Чисельність ОБЕ наших військ  $m_3^{HB}$ , які протягом періоду бойових дій перейдуть в стан  $HB_3$  (уражені, обстріл знято) буде характеризувати бойову ефективність артилерійських підрозділів противника  $E_{пром}(G_1)$ , що функціонує в умовах першого розглянутого варіанту з урахуванням початкового стану зв'язків між ОБЕ і артилерійськими підрозділами противника  $G_1$ .

Аналітичний вираз бойової ефективності застосування артилерійських підрозділів противника матиме вигляд:

$$\begin{aligned}
E_{пром}(G_1) &= N_{ОБЕ}(G_1) - (N_{ОБЕ}(G_1) e^{-\lambda_{01} t} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12} - \lambda_{01}} N_{ОБЕ}(G_1) e^{-\lambda_{01} t} + \\
&+ \frac{\lambda_{01} N_{ОБЕ}(G_1)}{\lambda_{01} - \lambda_{12}} e^{-\lambda_{12} t} + \frac{\lambda_{12} \lambda_{01}}{(\lambda_{12} - \lambda_{01})(\lambda_{23} - \lambda_{01})} N_{ОБЕ}(G_1) e^{-\lambda_{01} t} + \frac{N_{ОБЕ}(G_1)(\lambda_{23} - \lambda_{12})}{\lambda_{01} - \lambda_{12}} e^{-\lambda_{12} t} + \\
&+ ((-\frac{\lambda_{12} \lambda_{01} N_{ОБЕ}(G_1)}{(\lambda_{12} - \lambda_{01})(\lambda_{23} - \lambda_{01})} - \frac{\lambda_{01} N_{ОБЕ}(G_1)}{(\lambda_{23} - \lambda_{12})}) e^{-\lambda_{23} t}).
\end{aligned} \quad (2)$$

Удосконалену математичну модель представлено у вигляді чотирьох відносно самостійних блоків.

У першому блоці математичної моделі (рис. 2) визначається бойова ефективність застосування артилерійських підрозділів противника за умови відсутності вогневого впливу засобів РВіА на елементи підсистем РВС противника, що характеризується математичним сподіванням середньої кількості уражених ОБЕ наших військ за певний період часу  $M(E_{пром}(G_1))$ .

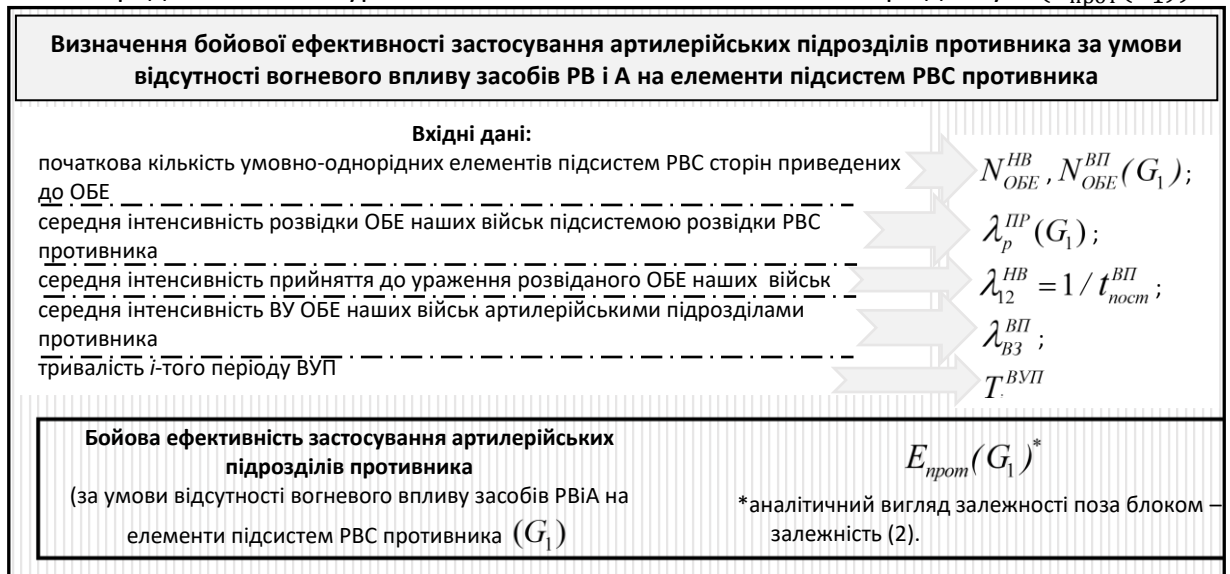
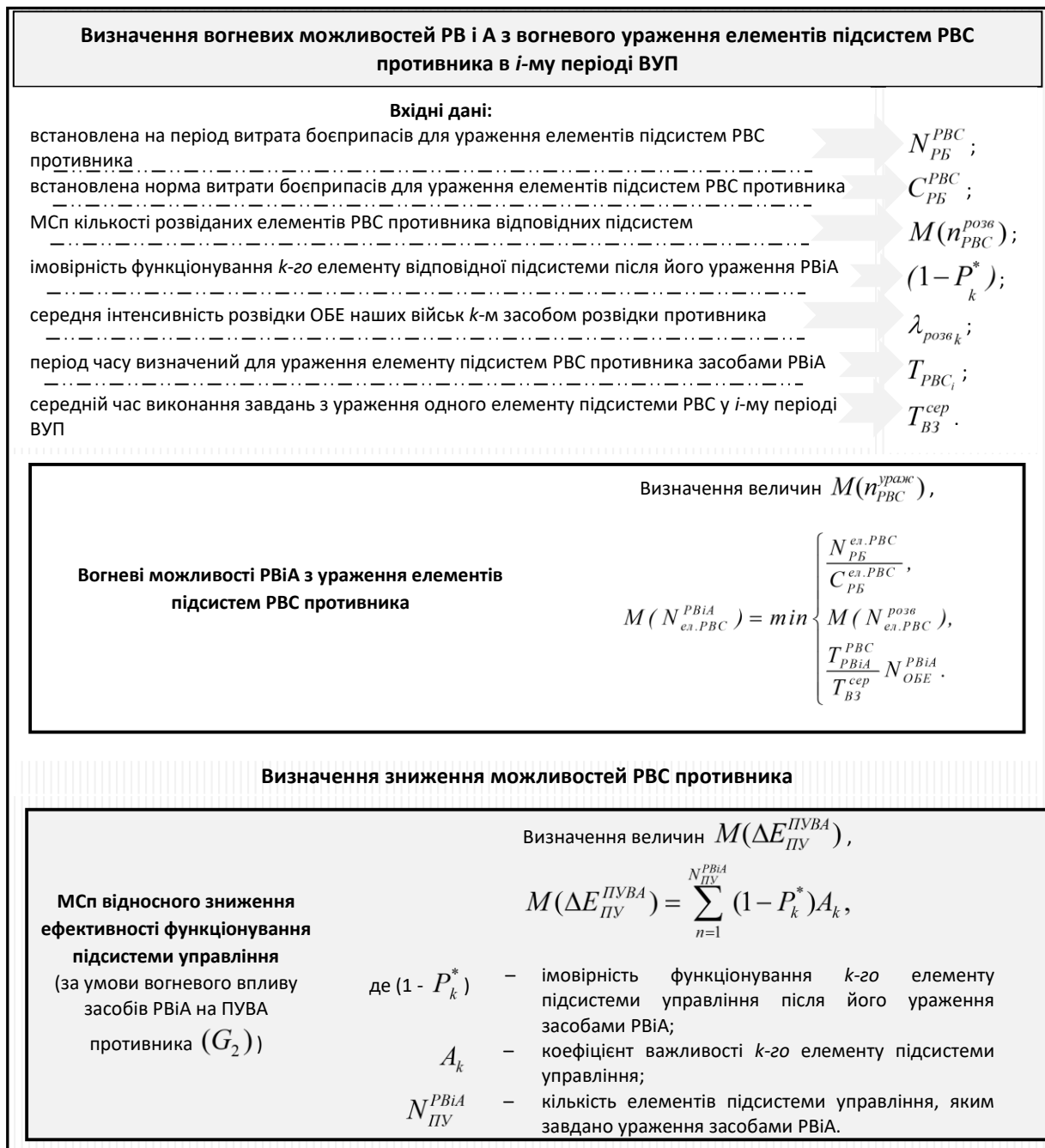


Рисунок 2 – Блок визначення бойової ефективності артилерійських підрозділів противника до ураження елементів підсистем його РВС

Другий блок математичної моделі (рис. 3) визначає можливості засобів РВ і А наших військ з ураження елементів підсистем РВС противника та вплив результату цього ураження на функціонування системи.

Можливості РВ і А з вогневого ураження елементів підсистем РВС противника визначаються на підставі: норми витрати боєприпасів для ураження елементів підсистем РВС, що забезпечують потрібний ступінь ураження об'єктів; встановленого ресурсу боєприпасів для ураження елементів підсистем РВС; середнього часу відведеного на виконання завдань з ураження елементів підсистем РВС.



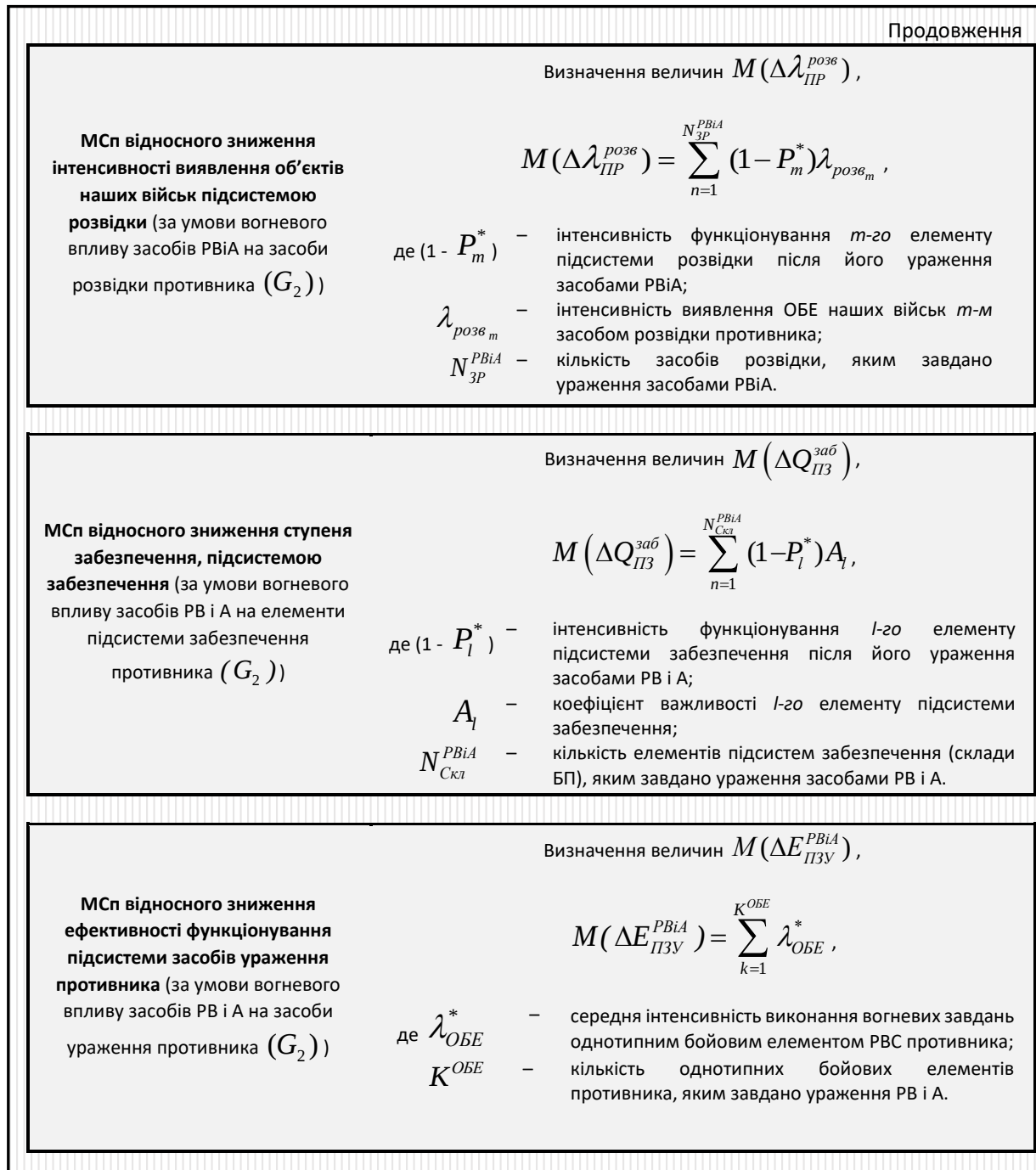


Рисунок 3 – Блок визначення вогневих можливостей засобів РВ і А щодо зниження можливостей РВС

Результатом вогневого ураження елементів різних підсистем РВС противника засобами РВ і А на початку  $i$ -го періоду може бути порушення управління вогнем артилерійських підрозділів, зниження інтенсивності його розвідки, порушення забезпечення артилерійських підрозділів боєприпасами, зменшення кількості вогневих засобів. Сукупний результат впливу буде визначатися відповідним показником ефективності функціонування РВС [14]. Зміна величини цього показника внаслідок вогневого впливу буде визначена у наступному блоці (рис. 4).

**Визначення бойової ефективності застосування артилерійських підрозділів противника за умови вогневого впливу засобів РВіА на елементи підсистем його РВС**

**Вхідні дані:**

|                                                                                        |                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| початкова кількість умовно-однорідних елементів підсистем РВС сторін приведених до ОВЕ | $N_{ОВЕ}^{HB}, N_{ОВЕ}^{ВП}(G_2);$       |
| середня інтенсивність розвідки ОВЕ наших військ підсистемою розвідки РВС противника    | $\lambda_p^{PP}(G_2);$                   |
| середня інтенсивність прийняття до ураження розвіданого ОВЕ наших військ               | $\lambda_{12}^{HB} = 1 / t_{пост}^{ВП};$ |
| середня інтенсивність ВУ ОВЕ наших військ артилерійськими підрозділами противника      | $\lambda_{ВЗ}^{ВП};$                     |
| тривалість $i$ -того періоду ВУП                                                       | $T_i^{ВУП}.$                             |

**Бойова ефективність застосування артилерійських підрозділів противника**

$$E_{прот}(G_2)^*$$

(за умови вогневого впливу засобів РВіА на елементи підсистем РВС противника  $(G_2)$ )

\*аналітичний вигляд залежності поза блоком – залежність (2).

Рисунок 4 – Блок визначення бойової ефективності артилерійських підрозділів противника при ураженні РВ і А елементів підсистем його РВС

У четвертому блоці (рис. 5) визначається основний показник вогневого ураження артилерійських підрозділів противника РВ і А [14] – імовірність зриву виконання противником оперативного (тактичного) завдання унаслідок зниження можливостей його РВС.

**Визначення величини зниження можливостей РВС противника для зриву виконання ним оперативного (тактичного) завдання**

**Вхідні дані:**

|                                                                                                                                          |                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| бойова ефективність РВС противника до ураження функціональних елементів її підсистем (перебування їх у стані $G_1$ )                     | $E_{прот}(G_1)$ |
| бойова ефективність РВС противника після ураження функціональних елементів її підсистем (після їх переходу зі стану $G_1$ у стан $G_2$ ) | $E_{прот}(G_2)$ |

**Імовірність зриву виконання противником оперативного (тактичного) завдання**

$$M(U_{зриву}^{O(T)3}) = 1 - \frac{E_{прот}(G_2)}{E_{прот}(G_1)}$$

Рисунок 5 – Блок визначення величини зниження можливостей РВС противника

## 5. Висновки

Запропонована удосконалена математична модель дає змогу визначити чисельні значення показників ефективності вогневого ураження артилерійських підрозділів противника засобами РВ і А з урахуванням особливостей функціонування елементів основних підсистем РВС та зв'язків між ними через обґрунтовану у [14] сукупність показників ефективності.

Удосконалена математична модель може бути використана для удосконалення методики оцінювання ефективності вогневого ураження артилерійських підрозділів противника засобами РВ і А в операціях.

## 6. Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

## 7. Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

### Список використаних джерел

1. Загорка О. М., Колесніков О. В., Коваль В. В., Загорка О. І. До питання застосування розвідувально-ударних і розвідувально-вогневих комплексів у мережецентричній війні. Науково-технічний журнал. "Наука і техніка ПС ЗСУ". 2012. № 3 (9). С. 8–13.
2. Тарасов В. М., Тимошенко Р. І., Загорка О. М. Розвідувально-ударні, розвідувально-вогневі комплекси (принципи побудови, оцінка ефективності бойового застосування) Київ: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2015. 170 с.
3. Майстренко О. В. Застосування Сухопутних військ в Збройних Сил України в конфліктах сучасності: Збірника тез доповідей науково-практичної конференції. (Львів, 18 листопада 2021 року). Львів: НАСВ. 2021. 231с.
4. Ріман О. О., Шевцов Р. В. Обґрунтування доцільного способу ураження артилерійських підрозділів противника: Збірник тез доповідей науково-практичної конференції. (Львів 20 листопада 2020 року). Львів: НАСВ, 2020. 268 с.
5. Головченко О. В., Лихольот О. В., Шевцов Р. В. Контент-аналіз перспективних тенденцій ведення збройної боротьби силами і засобами воєнного противника України. Збірник наукових праць Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського "Труди університету". 2020. № 4 (162). С. 140–149.
6. Ріман О. О., Шевцов Р. В. Особливості бойового застосування артилерійських підрозділів противником за досвідом російсько-української війни 2022 року: Збірник тез доповідей Науково-

### References

1. Zagorka O., Kolesnikov O., Koval V., Zagorka O. On the issue of the use of reconnaissance-strike and reconnaissance-fire systems in network-centric warfare. *Scientific and technical journal "Science and technology of the Armed Forces of the Armed Forces of Ukraine"*. 2012. No. 3 (9). P. 8–13.
2. Tarasov V., Tymoshenko R., Zagorka O. Reconnaissance-strike, reconnaissance-fire complexes (principles of construction, evaluation of the effectiveness of combat use) Kyiv: NUOU named after Ivan Chernyakhovskyi, 2015. 170 p.
3. Maistrenko O. The use of ground troops in the Armed Forces of Ukraine in modern conflicts: Collection of abstracts of scientific and practical conference reports. (Lviv, November 18, 2021). Lviv: NASV, 2021. 231p.
4. Riman O., Shevtsov R. Justification of the expedient method of defeating the enemy's artillery units: Collection of theses of reports of the scientific and practical conference. (Lviv, November 20, 2020). Lviv: NASV, 2020. 268 p.
5. Golovchenko O., Lykholyot O., Shevtsov R. Content analysis of promising trends in the armed struggle by the forces and means of the military enemy of Ukraine. *Collection of scientific works of the National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovskyi "Works of the University"*. 2020. No. 4 (162). P. 140–149.
6. Riman O., Shevtsov R. Features of the combat use of artillery units by the enemy according to the experience of the Russian-Ukrainian war of 2022: Collection of theses of reports of the Scientific and Technical Conference. (Amounts on

- технічної конференції. (Суми 2 грудня 2022 року). Суми: НДЦ РВ і А. 2022. 72 с.
7. Пасько І. В., Мелешко О.М. Підвищення ефективності вогневого ураження високоманеврених артилерійських підрозділів. Науковий журнал Харківського університету Повітряних Сил Системи імені Івана Кожедуба "Озброєння і військова техніка" 2016. № 1(45). С. 59-61.
8. Мелешко О. М., Трофименко П.Є. Шляхи підвищення ефективності вогневого ураження високоманеврених цілей. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба "Системи обробки інформації". 2010. № 6(87). С. 136-138.
9. Репіло Ю. Є., Свідлов Ю. І., Методика оцінки ефективності вогневого ураження артилерії еventуального противника в контрбатареїнй боротьбі. Збірник наукових праць Національної академії оборони України "Труди академії". 2002. №40 С. 71-76.
10. Ріман О. О., Салкуцан С. М. Оцінювання ефективності ураження наземних елементів безпілотних авіаційних комплексів противника ракетними військами і артилерією. Збірник тез доповідей науково-практичного семінару. (Київ 12 березня 2014 року). Київ: НУОУ імені Івана Черняхівського, 2014. С. 36–56.
11. Соколовський С. М. Оцінка ефективності ураження елементів системи бойового управління противника вогнем артилерії. Збірник тез доповідей науково-практичної конференції. (Київ 27 жовтня 2011 року). Київ: НУОУ імені Івана Черняхівського, 2011. С. 51–57.
12. Калашніков Є. М., Салкуцан С. М. Оцінювання прогностичної ефективності ураження системи тилового забезпечення противника ракетними військами і артилерією в операціях. Збірник наукових праць Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського December 2, 2022). Sumy: SRC of MF and A. 2022. 72 p.
7. Pasko I., Meleshko O. Increasing the effectiveness of fire damage of highly maneuverable artillery units. *Scientific journal of Ivan Kozhedub Air Force System Kharkiv University "Armament and military equipment"*. 2016. No. 1(45). P. 59-61.
8. Meleshko O., Trofymenko P. Ways of increasing the effectiveness of fire damage to highly maneuverable targets. *A collection of scientific works of the Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub "Information processing systems"*. 2010. No. 6(87). P. 136-138.
9. Repilo Yu., Svidlov Yu., Methodology for evaluating the effectiveness of fire damage of artillery of a possible enemy in counter-battery combat. *Collection of scientific works of the National Academy of Defense of Ukraine "Proceedings of the Academy"*. 2002. No. 40, pp. 71-76.
10. Riman O., Salkutsan S. Evaluation of the effectiveness of defeating ground elements of the enemy's unmanned aircraft systems by missile troops and artillery. *A collection of abstracts of scientific and practical seminar reports*. (Kyiv, March 12, 2014). Kyiv: NUOU named after Ivan Chernyakhovsky, 2014. P. 36–56.
11. Sokolovsky S. Evaluation of the effectiveness of defeating elements of the enemy's combat control system by artillery fire. *A collection of abstracts of scientific and practical conference reports*. (Kyiv, October 27, 2011). Kyiv: NUOU named after Ivan Chernyakhovsky, 2011. P. 51–57.
12. Kalashnikov E., Salkutsan S. Evaluation of the prognostic effectiveness of defeating the enemy's rear support system by missile forces and artillery in operations. *A collection of scientific works of the National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky "Works of the University"*. 2012. No. 6(112). P. 38–43.

- “Труди університету”. 2012. № 6(112). С. 38–43.
13. Ріман О. О., Шевцов Р. В. Ієрархічна система цілей вогневого ураження артилерійських підрозділів противника в сучасних умовах: Збірник тез доповідей Науково-технічної конференції (Суми 2-3 грудня 2021 року). Суми: НДЦ РВіА. 2021. 72 с.
14. Шевцов Р. В. Обґрунтування сукупності показників ефективності вогневого ураження артилерійських підрозділів противника ракетними військами і артилерією в операції. Збірник наукових праць Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського “Труди університету”. 2023. № 1(176).
15. Бобриков А. А. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии. Санкт-Петербург. Галея Принт, 2006. 424 с.
16. Ивлев А. А. Основы теории Бойда. Направления развития, применения, и реализации. Монография. URL: [http://old.vko.ru/pdf/2008/library/08\\_05\\_23\\_02.pdf](http://old.vko.ru/pdf/2008/library/08_05_23_02.pdf).
17. Артюхов А. В., Вернер И. Е., Гавалко В. И. Основы моделирования боевых действий войск. Підручник Київ. НАОУ, 2005. 483 с.
18. Вентцель Е. С. Исследование операций. – М.: Советское радио. – 1972. – 552 с.
13. Riman O., Shevtsov R. Hierarchical system of targets for fire damage of enemy artillery units in modern conditions: Collection of theses of reports of the Scientific and Technical Conference (Sumy, December 2-3, 2021). Sumy: SRC of MF and A. 2021. 72 p.
14. Shevtsov R. Justification of the totality of indicators of the effectiveness of the fire damage of enemy artillery units by missile troops and artillery in the operation. *A collection of scientific works of the National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky "Works of the University"*. 2023. No. 1(176).
15. Bobrykov A. Evaluation of the effectiveness of fire defeat by missile strikes and artillery fire. St. Petersburg. Galea Print, 2006. 424 p.
16. Ivlev A. Fundamentals of Boyd theory. Directions of development, application, and implementation. Monograph. Available from : [http://old.vko.ru/pdf/2008/library/08\\_05\\_23\\_02.pdf](http://old.vko.ru/pdf/2008/library/08_05_23_02.pdf).
17. Artyukhov A., Werner I., Havalko V. Basics of modeling military operations. Textbook Kyiv. NAOU, 2005. 483 p.
18. Wentzel E. Operations research. Moscow: Soviet Radio, 1972. 552 p.