

О. Є. ФЕДОРОВИЧ¹, О. С. УРУСЬКИЙ², Ю. Л. ПРОНЧАКОВ¹,
А. В. РИБКА¹, Ю. О. ЛЕЩЕНКО¹

¹ Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна

² «Прогрестех-Україна», Київ, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИКИ СТАНОВЛЕННЯ ВІЙСЬКОВОГО ПАРИТЕТУ СИЛ У ЗОНІ БОЙОВИХ ДІЙ

Ставиться та вирішується задача багатоваріантного, багатокритеріального характеру, яка пов'язана з моделюванням логістичного процесу створення військового паритету сил у зоні воєнного конфлікту, що сприяє успішному виконанню цілей військової операції. Актуальність дослідження пов'язана з аналізом факторів загроз становлення військового паритету сил, загроз логістичного характеру, які виникають через постачання озброєння та військової техніки, що викликає появу збитків у зоні військового конфлікту (втрати особового складу, порушення оборонних споруд, перехід від наступальних дій до оборонних, тощо). Метою дослідження є моделювання дій, пов'язаних з формуванням паритету сил в зоні військового конфлікту в умовах загроз та вразливостей, пов'язаних з логістикою постачання озброєння та військової техніки в зону бойових дій. Проводиться аналіз публікацій та виявляються недоліки існуючих підходів, які пов'язані з дослідженням окремих складових процесу становлення паритету військових сил у зоні конфлікту, які не мають комплексного вирішення проблеми з урахуванням логістики. Досліджуються фактори загроз, пов'язаних з постачанням потрібних видів озброєння у необхідній кількості в зону бойових дій, за допомогою використання якісних оцінок військових експертів та лексикографічного впорядкування можливих варіантів постачальників озброєння та військової техніки. Проведена оптимізація вибору постачальників озброєння та військової техніки за допомогою цілочисельного (булевого) програмування. Сформована логічна послідовність дій у вигляді: загроза – вразливості – збитки, яка досліджується за допомогою методу теорії експерименту у вигляді повного факторного експерименту та використання оцінок військових експертів. Створена агентна імітаційна модель дослідження логістики постачання військових вантажів для становлення військового паритету сил у зоні конфлікту. В моделі присутні агенти, які пов'язані з формуванням загроз, збудженням вразливостей та виникненням збитків в зоні бойових дій. Моделюється постачання військової техніки у різномірній транспортній мережі з можливими перевалками з однієї магістралі на іншу та місяцями тимчасового зберігання військових вантажів. За допомогою агентної імітаційної моделі визначаються фактичні строки постачання озброєння та військової техніки в умовах загроз воєнного часу. Створюється метод підвищення ефективності використання озброєння у зоні бойових дій за рахунок використання сучасних видів зброї та формування асиметрії у військовому паритеті сил (перевага якості над кількістю). Вирішення оптимізаційних задач здійснюється в умовах протиріччя критеріїв часу, витрат та ризиків, які пов'язані з логістикою процесу формування військового паритету сил у зоні бойових дій. Наукова новизна дослідження, пов'язана з розробкою нового методу, заснованого на моделюванні логістичного процесу формування військового паритету сил у зоні бойових дій, що дозволяє успішно виконати поставлені цілі військової операції.

Ключові слова: військовий паритет сил; логістика постачання озброєння та військової техніки; загрози та вразливості у воєнний час; збитки у зоні військового конфлікту; логістика постачання військових вантажів; агентне імітаційне моделювання; оптимізація часу, витрат та ризиків.

Вступ

Проведення успішної військової операції, у сучасних умовах, залежить від багатьох факторів, у тому числі, від наявності військового паритету сил з можливим супротивником [1, 2]. Створення парите-

ту в озброєнні та військовій техніці є однією з важливих задач при підготовки до воєнної операції [3, 4]. Формування військового паритету сил представляє собою складну задачу логістичного характеру, в якій повинні бути задіяні розробники, постачальник озброєння та військової техніки, логістика перевезень у різномірному транспортному

середовищі з можливими перевалками з однією транспортної магістралі на іншу та тимчасовим складуванням військових вантажів [5, 6]. Тому актуальна тема запропонованої публікації, в якій ставиться та вирішується задача, пов'язана з логістикою забезпечення військового паритету сил у зоні бойових дій для успішного виконання воєнної операції, в умовах загроз та вразливостей, які пов'язані з логістикою постачання озброєння та військової техніки [7-9]. Проведений аналіз публікацій за даною тематикою показав, що існуючі роботи, в основному, пов'язані з окремими аспектами поставленої задачі, такими як дослідження вимог щодо формування військового паритету сил [10, 11], для успішного виконання воєнної операції, логістика перевезень військових вантажів [12], наявність невизначеностей, пов'язаних з логістикою військових перевезень [13]. Відсутні публікації з комплексним рішенням запропонованої задачі, аналізом загроз, пов'язаних з порушенням військового паритету у зоні воєнного конфлікту, загроз логістичного характеру, пов'язаних з транспортуванням військових вантажів у зону бойових дій. Окрім того, не досліджується вплив можливих вразливостей, пов'язаних з логістикою доставки військових вантажів у зону бойових дій, що призводить до порушення військового паритету сил i , як наслідок, до загибелі особового складу збройних сил, руйнування оборонної інфраструктури, перехід від наступальних до оборонних дій, тощо. Метою дослідження є моделювання дій, пов'язаних з формуванням військового паритету сил у зоні воєнного конфлікту, в умовах загроз та вразливостей, у логістиці виробництва та постачання озброєння та військової техніки у зону бойових дій. В якості основних критеріїв, для оцінки виконання мети дослідження, використовуються рівні загроз, ризику логістичного характеру, час та витрати, необхідні для встановлення військового паритету сил в зоні воєнного конфлікту. Для реалізації поставленої мети дослідження необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати фактори загроз при формуванні військового паритету сил у зоні бойових дій.
2. Провести моделювання загроз в логістиці виробництва і постачання озброєння і військової техніки для забезпечення військового паритету сил в зоні бойових дій.
3. Розробити метод підвищення ефективності використання озброєння, за рахунок створення асиметрії у військовому паритеті сил, у зоні бойових дій.
4. Створити агентну імітаційну модель дослідження логістики виробництва та постачання озброєння і військової техніки у зону бойових дій для встановлення військового паритету сил.

1. Аналіз факторів загроз при формуванні військового паритету сил у зоні бойових дій

Для формування військового паритету сил, необхідно проаналізувати основні складові озброєння та військової техніки у конкретній зоні бойових дій. Наприклад, такими складовими у вигляді факторів загроз є відсутність у потрібній кількості таких видів озброєння:

- авіації,
- важкого озброєння,
- боєприпасів,
- безпілотних авіаційних комплексів.

Нехай, за допомогою військових фахівців для зони бойових дій, що розглядається, визначено необхідні види та кількість озброєння та військової техніки у вигляді множини – M , $m_i \in M$, $i = \overline{1, N}$. Де m_i – кількість озброєння i -го виду, яке необхідне для становлення військового паритету сил, N – кількість необхідних видів озброєння для становлення військового паритету сил у зоні бойових дій (ЗБД).

Відомо, з думки військових фахівців, яка кількість озброєння i -го виду є в наявності в ЗБД – $m_{oi} \in M_0$, де m_{oi} – наявність у ЗБД озброєння i -го виду у даний час.

Тоді $\Delta m_i = m_i - m_{oi}$ є кількість озброєння i -го виду, яке необхідне для забезпечення військового паритету сил у ЗБД. Чим більше величина Δm_i , тим більше буде загроза, яка пов'язана з відсутністю потрібної кількості озброєння i -го виду у ЗБД. Поява загроз, пов'язаних з необхідною кількістю визначених видів озброєння, може призвести до збитків у ЗБД (загибель особового складу, порушення оборонної інфраструктури, перехід від наступальних дій до оборонних, тощо). Тому, необхідно оцінити рівень загроз з урахуванням можливих факторів, пов'язаних з недостатньою кількістю озброєння.

Для зручності та простоти проведення аналізу рівня загроз, користаємося оцінками військових фахівців для кожного i -го виду озброєння. Для цього скористаємося якісними оцінками рівня загроз у вигляді значень лінгвістичної змінної:

$$x_i = \begin{cases} A - \text{низький рівень загрози до} \\ \quad \text{i-го виду озброєння;} \\ B - \text{допустимий рівень загрози;} \\ C - \text{високий рівень загрози.} \end{cases}$$

Для кожного i -го виду озброєння та військової техніки є в наявності множина постачальників P_i , які мають змогу поставити m_{ij} кількість озброєння та

військової техніки $m_{ij} \leq \Delta m_i$. Величина m_{ij} є фактором, який впливає на рівень загрози x_i та визначається за допомогою військових фахівців для кожного i -го виду озброєння. Крім того, необхідно врахувати час виробництва та постачання t_{ij} i -го виду озброєння j -м постачальником, w_{ij} – витрати на виробництво та постачання i -го виду озброєння j -м постачальником, r_{ij} – ризики виробництва та постачання i -го виду озброєння j -м постачальником.

Де:

$$t_{ij} = \begin{cases} A - \text{мінімальний строк постачання;} \\ B - \text{задовільний строк постачання;} \\ C - \text{максимальний строк постачання;} \end{cases}$$

$$w_{ij} = \begin{cases} A - \text{мінімальні витрати;} \\ B - \text{допустимі витрати;} \\ C - \text{максимальні витрати;} \end{cases}$$

$$r_{ij} = \begin{cases} A - \text{мінімальний ризик;} \\ B - \text{допустимий ризик;} \\ C - \text{максимальний ризик.} \end{cases}$$

Для визначення постачальника у множині P_i представимо кожного можливого j -го постачальника для i -го виду озброєння у вигляді послідовності якісних значень x_{ij} , t_{ij} , w_{ij} , r_{ij} , де x_{ij} – рівень загрози, яку встановлюють військові фахівці у залежності від величини m_{ij} , яка пов'язана з кількістю i -го виду озброєння та може буди поставлено j -им постачальником.

Перелік якісних значень x_{ij} , t_{ij} , w_{ij} , r_{ij} будемо представляти умовно у вигляді «слова», наприклад: В А В С. Тоді для множини P_i можливих постачальників i -го виду озброєння та військової техніки, отримаємо список «слів», які будуть представляти варіанти за вибором постачальників. Наприклад, маємо 10 варіантів:

1. А, С, В, В
2. В, А, В, В
3. В, В, А, В
4. С, А, А, В
5. В, В, С, В
6. В, А, С, С
7. С, А, А, А
8. В, В, А, С
9. С, А, А, С
10. А, В, В, С.

Шляхом впорядкування варіантів у лексикографічному сенсі (як у словнику) можна виділити

варіант з мінімальним значенням рівня загроз. Отримаємо:

10. А, В, В, С
1. А, С, В, В
2. В, А, В, В
6. В, А, С, С
3. В, В, А, В
8. В, В, А, С
5. В, В, С, В
7. С, А, А, А
4. С, А, А, В
9. С, А, А, С.

Помітно, що варіанти з мінімальним рівнем загрози будуть знаходитися у верхній половині впорядкованого списку можливих постачальників озброєння та військової техніки i -го виду. В даному прикладі доцільно взяти другий варіант постачальника з допустимим рівнем загроз, мінімальним строком виробництва та поставки i -го виду озброєння, допустимим значенням витрат на виробництво та поставку, допустимим значенням ризику.

Таким чином, для кожного i -го виду озброєння та військової техніки будуть обрані постачальники, які забезпечують у цілому для всього озброєння мінімальний рівень загрози при формуванні військового паритету сил у зоні бойових дій.

При великій кількості можливих постачальників озброєння та військової техніки, скористаємося кількісними оцінками для формування оптимізаційної задачі вибору постачальника з множини постачальників, що мінімізує рівень загроз при формуванні військового паритету сил у ЗБД.

Нехай, z_{ij} – булева змінна, яка приймає значення:

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 - \text{якщо обрано } j\text{-го постачальника} \\ \text{до } i\text{-го виду озброєння;} \\ 0 - \text{в іншому випадку;} \end{cases}$$

при цьому $\sum_{j=1}^{n_i} z_{ij} = 1$.

Тоді, критерій загрози можна навести у наступному вигляді:

$$V = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} v_{ij} z_{ij},$$

де v_{ij} – кількісна оцінка рівня загрози, яка запропонована військовими експертами (наприклад, 10-бальній шкалі), при виборі j -го постачальника i -го

виду озброєння, n_i – кількість можливих постачальників i -го виду озброєння. Необхідно відмітити, що v_{ij} залежить від кількості $m'_{ij} \leq \Delta m_{ij}$, де m'_{ij} фактична кількість озброєння i -го виду, яку може поставити j -й постачальник.

Сумарний час на виробництво та постачання озброєння (песимістична оцінка часу, пов'язана з послідовним характером постачання озброєння):

$$T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} t_{ij} Z_{ij}.$$

Витрати, пов'язані з виробництвом та постачанням необхідного озброєння та військової техніки для встановлення військового паритету сил у ЗБД:

$$W = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} Z_{ij}.$$

Ризики виробництва та постачання озброєння для встановлення військового паритету сил у ЗБД:

$$R = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} r_{ij} Z_{ij}.$$

Необхідно мінімізувати загрозу, пов'язану з відсутністю необхідної кількості озброєння різних видів у ЗБД:

$$\min V, V = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} v_{ij} Z_{ij},$$

при виконанні наступних обмежень:

$$T \leq T', T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} t_{ij} Z_{ij},$$

$$W \leq W', W = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} Z_{ij},$$

$$R \leq R', R = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} r_{ij} Z_{ij},$$

де T', W', R' – допустимі значення часу виробництва та постачання озброєння, допустимі витрати та ризики становлення військового паритету сил у ЗБД.

У випадку можливих паралельних, у часі, поставок озброєння та військової техніки у ЗБД (оптимістична оцінка часу постачання):

$$T = \max_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^{n_i} t_{ij} Z_{ij} \right).$$

Якщо, у військових експертів виникають складності з визначенням оцінок загроз, то у цьому випадку скористуємося значеннями $\Delta m'_{ij} = \Delta m_{ij} - m'_{ij}$, які необхідно мінімізувати при виробництві та постачанні озброєння та військової техніки у ЗБД. У цьому випадку необхідно:

$$\min \Delta m', \Delta m' = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \Delta m'_{ij} Z_{ij},$$

з урахуванням допустимих значень;

$$T \leq T', T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} t_{ij} Z_{ij},$$

$$W \leq W', W = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} Z_{ij},$$

$$R \leq R', R = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} r_{ij} Z_{ij}.$$

Якщо, для i -го виду озброєння можливе використання не одного постачальника, а групи постачальників, то у цьому випадку, необхідно оцінити кожну k -у групу можливих постачальників для j -го варіанту вибору постачальників i -го виду озброєння:

$$v_{ij} = \sum_{k=1}^{l_j} v_{ijk},$$

$$t_{ij} = \sum_{k=1}^{l_j} t_{ijk},$$

$$w_{ij} = \sum_{k=1}^{l_j} w_{ijk},$$

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^{l_j} r_{ijk},$$

де l_j – кількість можливих постачальників у групі для j -го варіанту вибору можливих постачальників.

Тоді, для оцінки рівня загроз:

$$\min V, V = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \left(\sum_{k=1}^{l_j} v_{ijk} \right) Z_{ij},$$

при виконанні обмежень:

$$T \leq T', T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \left(\sum_{k=1}^{l_j} t_{ijk} \right) Z_{ij},$$

$$W \leq W', W = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \left(\sum_{k=1}^{l_j} w_{ijk} \right) Z_{ij},$$

$$R \leq R', R = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \left(\sum_{k=1}^{l_j} r_{ijk} \right) Z_{ij}.$$

Якщо, виникають складності, пов'язані з кількісними оцінками військового рівня загроз v_{ijk} , то у цьому випадку необхідно:

$$\min \Delta m', \Delta m' = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \left(\sum_{k=1}^{l_j} \Delta m'_{ijk} \right) Z_{ij},$$

з урахуванням виконання обмежень

$$T \leq T', T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \left(\sum_{k=1}^{l_j} t_{ijk} \right) Z_{ij},$$

$$W \leq W', W = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \left(\sum_{k=1}^{l_j} w_{ijk} \right) Z_{ij},$$

$$R \leq R', R = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \left(\sum_{k=1}^{l_j} r_{ijk} \right) Z_{ij}.$$

2. Моделювання загроз в логістиці виробництва і постачання озброєння і військової техніки для забезпечення військового паритету сил в зоні бойових дій

У воєнний час логістичні ланцюги, які використовуються для виробництва та постачання озброєння і військової техніки у зону конфлікту можуть порушуватись через виникнення загроз, пов'язаних з діями агресора. При цьому, реалізація загроз призводить до збудження різних вразливостей у логістиці виробництва та постачання, що в решті решт може призвести до збитків у зоні бойових дій (загибель особового складу, порушення оборонної інфраструктури, перехід від наступальних дій до оборонних, тощо). Виникає логічний ланцюг, який необхідно дослідити, у вигляді: загроза – вразливості – збитки. Вразливості, наприклад, можуть бути пов'язані зі станом та вузькими місцями у різномірній транспортній мережі, в якій здійснюються перевезення озброєння та військової техніки (моральне та фізичне старіння транспортної системи, вузькі місця у вигляді

перевалок військових вантажів з однієї транспортної магістралі на іншу, необхідне складування та тимчасове зберігання військових вантажів у визначених місцях транспортної мережі, перевезення боєприпасів, які можуть вибухнути через дії агресора, порушення вимог габаритів та ваги вантажів, порушення вимог спеціального режиму перевезень, тощо). При виникненні загрози з боку агресора (нальоти авіації, приліт ракет, дії дальньої артилерії, тощо) здійснюється збудження вразливостей, які призводять до появи збитків у зоні бойових дій. Тому, виникає актуальна задача визначення впливу загроз на збудження вразливостей, які призводять до появи збитків. Це впливає на характер бойових дій у зоні воєнного конфлікту (перехід від наступальних дій до оборонних, відступ від раніш зайнятих позицій, тощо). Для аналізу логічної послідовності: загроза – вразливості – збитки, скористаємося оцінками військових експертів, які формуються за допомогою повного факторного експерименту (ПФЕ). В якості прикладу такого аналізу, розглянемо вплив загрози у вигляді авіаційного нальоту на ділянку залізничної магістралі, на якій здійснюється транспортування артилерійського озброєння. Нехай, військові експерти, які знають конкретний маршрут руху військового вантажу, вказали на три можливі вразливості транспортування у вигляді факторів x_j ПФЕ:

- перевалка вантажу (x_1),
- тимчасове зберігання (x_2),
- порушення спеціального режиму перевезень (x_3).

На рис. 1 представлений план ПФЕ, де строки плану відповідають можливим вразливостям (відсутність вразливостей – перша строка (-1, -1, -1), присутність усіх вразливостей – остання строка плану (+1, +1, +1)).

	x_1	x_2	x_3	y
1	-1	-1	-1	0
2	-1	-1	+1	5
3	-1	+1	-1	3
4	-1	+1	+1	8
5	+1	-1	-1	2
6	+1	-1	+1	7
7	+1	+1	-1	5
8	+1	+1	+1	10

Рис. 1. План ПФЕ для оцінки збитків

Правий стовбець плану ПФЕ має оцінки військових експертів за рівнями збитку, який виникає через появу вразливостей при нальоті авіації (наприклад, за десяти бальною шкалою). За допомогою плану ПФЕ можна побудувати регресійну залежність, яка дозволяє оцінити вплив окремих факторів

(вразливостей) на збитки, за умови збудження окремих вразливостей у випадку появи загрози (авіаційний наліт):

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \\ + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + \\ + b_{123}x_1x_2x_3,$$

де $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ – коефіцієнти, які пов'язані з впливом факторів x_1, x_2, x_3 на значення величини збитку (y). Нас цікавить лінійна частина регресійної залежності, яка пов'язана з впливом окремих факторів (вразливостей) на величину збитку. Після нескладних розрахунків, отримаємо:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 = \\ = 5 + x_1 + 1,5x_2 + 2,5x_3.$$

Отримана, в результаті віртуального експерименту залежність, вказує на вплив окремих факторів (вразливостей):

1. Самою важливою вразливістю, яка збуджується при авіаційному нальоті, є, за думкою експертів, порушення спеціального режиму при перевезення воєнного вантажу ($b_3=2,5$).

2. Менш важливою є вразливість, яка пов'язана з тимчасовим зберіганням військового вантажу ($b_2=1,5$).

3. Найменшою, за впливом на збитки, при нальоту авіації оказує вразливість, яка пов'язана з перевалками військового вантажу ($b_1=1$).

3. Метод підвищення ефективності використання озброєння, за рахунок створення асиметрії у військовому паритеті сил, у зоні бойових дій

Військовий паритет сил пов'язаний з використанням примірно однакових, за ефективністю, видів озброєння у супротивників в зоні бойових дій. Поява нових зразків озброєння та військової техніки дає можливість використовувати у зоні конфлікту більш ефективну зброю, яка набагато перевершує бойові характеристики аналогів (наприклад, використання сучасних РСЗВ HIMARS для ракетно-артилерійського виду озброєння з підвищеною дальністю та точністю враження). Тому, за рахунок створення асиметрії в кількості озброєння для різних видів озброєння можливо отримати підвищення загальної ефективності використання зброї в зоні бойових дій (перевага якості над кількістю). Тому, актуальна розробка методу підвищення ефективності використання озброєння у зоні бойових дій, за рахунок ста-

новлення асиметрії за видами зброї у військовому паритеті сил. Через багатоваріантність становлення асиметрії у військовому паритеті сил, в якості математичного інструменту для вирішення задачі використовуємо метод цілочисельного (булевого) програмування.

Нехай, x_{ijk} булева змінна, яка має такі значення:

$$x_{ijk} = \begin{cases} x_{ijk} = 1, \text{ якщо до } i\text{-го виду озброєння} \\ \text{обрано } j\text{-й тип зброї} \\ \text{та } i\text{-й постачальник;} \\ x_{ijk} = 0, \text{ в іншому випадку;} \end{cases}$$

Далі, за допомогою військових фахівців (експертів), за кожним видом зброї, визначається ефективність q_{ij} використання зброї у зоні бойових дій. Тоді для кожного виду озброєння ефективність використання має вигляд:

$$Q_i = \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{p_j} q_{ij} m_{ijk} x_{ijk},$$

де m_{ijk} – кількість одиниць озброєння, яке може розробити k -й постачальник j -го типу для i -го виду озброєння;

p_j – кількість можливих постачальників.

Тоді загальна ефективність використання озброєння у зоні бойових дій:

$$Q = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{p_j} q_{ij} m_{ijk} x_{ijk},$$

де N – кількість видів озброєння.

Для забезпечення успіху бойових дій, у зоні конфлікту, необхідно:

$$\max Q, Q = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{p_j} q_{ij} m_{ijk} x_{ijk},$$

з урахуванням обмежень:

$$T \leq T', T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{p_j} t_{ijk} m_{ijk} x_{ijk},$$

де T – часові витрати, пов'язані з виробництвом та постачанням озброєння у зону бойових дій;

T' – допустимий час, який було виділено на виробництво та постачання озброєння в зону конфлікту;

t_{ijk} – час витрачений на виробництво та постачання одного зразка озброєння i -го виду, j -го типу озброєння k -м постачальником.

$$W \leq W', \quad W = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{p_j} w_{ijk} m_{ijk} x_{ijk},$$

де W – витрати на виробництво та постачання озброєння у зону бойових дій;

W' – допустимі витрати;

w_{ijk} – витрати, пов'язані з виробництвом та постачанням одного зразка озброєння i -го виду, j -го типу озброєння k -м постачальником озброєння.

$$R \leq R', \quad R = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{p_j} r_{ijk} m_{ijk} x_{ijk},$$

де R – ризики, пов'язані з виробництвом та постачанням озброєння у зону бойових дій

R' – допустимі ризики,

r_{ijk} – ризик, пов'язаний з виробництвом та постачанням одного зразка озброєння i -го виду, j -го типу k -м постачальником озброєння.

При цьому необхідно виконати умови:

$$\sum_{k=1}^{p_j} x_{ijk} = 1,$$

що означає обов'язковий вибір постачальника для i -го виду, j -го типу озброєння.

4. Агентна імітаційна модель для дослідження логістики виробництва та постачання озброєння і військової техніки у зону бойових дій для встановлення військового паритету сил

Для розрахунку, умовах загроз, часу в становлення військового паритету сил була створена модель, яка дозволяє імітувати динаміку транспортування військових вантажів (заявки в імітаційній моделі) з урахуванням появи загроз та збудження вразливостей, що призводить до зупинки руху вантажів у зону бойових дій. Агентна модель створена за допомогою середовища імітаційного моделювання Any Logic, з урахуванням основних подій, які виникають при транспортуванні військових вантажів. Транспортна мережа постачання військових вантажів представлена у вигляді графу G , в якому вершини представляють транспортні вузли, а ребра – ділянки

транспортної магістралі. Можливі перевалки та тимчасове збереження вантажів розглядається у вигляді відповідних агентів моделювання. Основними агентами в агентній імітаційній моделі дослідження виробництва та логістики постачання військових вантажів, для становлення військового паритету сил у зоні конфлікту є:

1. Агент опису транспортної мережі.
2. Агент генератор заявок (військових вантажів).
3. Агент виникнення загроз.
4. Агент збудження вразливостей.
5. Агент формування маршруту транспортування військових вантажів.
6. Агент транспортних вузлів.
7. Агент ділянок транспортної магістралі.
8. Агент тимчасового зберігання (складування) військових вантажів.
9. Агент перевалок.
10. Агент часових затримок військових вантажів (через збудження вразливостей).
11. Агент ризиків.
12. Агент зони бойових дій (ЗБД).
13. Агент управління моделюванням.
14. Агент результатів моделювання.

На рис. 2 представлена структурна схема агентної моделі.

Коротко опишемо алгоритм імітаційного моделювання. За допомогою військових експертів задається транспортна мережа (або її фрагмент), яка буде використовуватися для перевезення військових вантажів в ЗБД у вигляді множин транспортних вузлів та ділянок різномірної транспортної мережі (агент опису транспортної мережі). Далі, задається час початку руху військового вантажу у транспортній магістралі (агент генератор заявок). Далі за допомогою (агент маршрут руху вантажу) здійснюється транспортування заявки (військового вантажу) за транспортними вузлами та ділянкам магістралі з використанням (агент транспортний вузол) та (агент ділянка транспортної магістралі). При русі заявки (військового вантажу) можливе збудження вразливостей (агент вразливість) через появи загроз (агент загроза). Це призводить до тимчасової затримки заявки (військового вантажу) на строк, пов'язаний з характером загрози та збудженою вразливістю. При надходженні заявки (військового вантажу) у зоні бойових дій (агент ЗБД) зупиняється моделювання та видаються результати (агент результатів моделювання) у вигляді:

- строк надходження заявок (військових вантажів) у ЗБД;

- час, витрачений на перевезення військового вантажу за заданим маршрутом (без збудження вразливостей, зі збудженням);

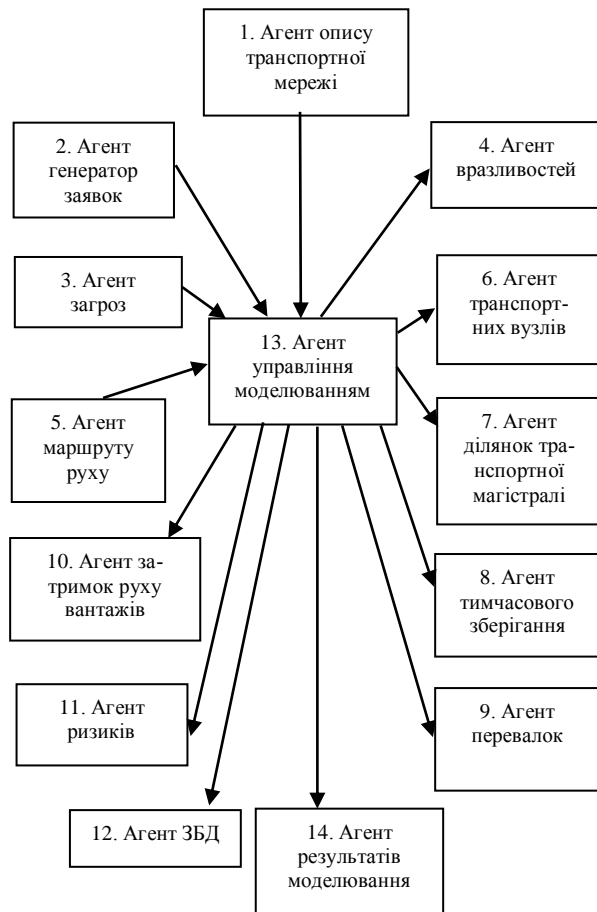


Рис. 2. Структурна схема агентної моделі

- сумарні часові затримки військових вантажів;
- порушення строків постачання військових вантажів у ЗБД;
- час, витрачений на перевалки;
- час, витрачений на тимчасове збереження (складування) військових вантажів.

Розроблено алгоритм пошуку маршруту з мінімальним, за часом, транспортуванням військового вантажу у ЗБД. У випадку наявності оцінок ризиків, запропонованих військовими експертами, розроблено алгоритм формування накопиченого ризику в логістиці постачання у ЗБД (агент ризиків).

Висновки

Проведене дослідження пов'язане з моделюванням загроз у логістичному процесі формування військового паритету сил у зоні бойових дій. У результаті, попереднього аналізу, виявлені недоліки існуючих методів, які розглядають окремі аспекти процесу встановлення військового паритету, не пов'язані у комплексне вирішення задачі. Проведено аналіз факторів загроз, пов'язаних з відсутністю військового паритету сил у зоні воєнного конфлікту. Проведена оцінка військовими експертами різних

видів озброєння, для дослідження їх впливу на баланс військових сил у зоні бойових дій. Оцінювання здійснено за допомогою якісних оцінок військових експертів, у вигляді значень лінгвістичних змінних. При великій кількості можливих варіантів вибору постачальників озброєння та військової техніки, використовується метод цілочисельного (булевого) програмування. В якості критеріїв, для оцінки постачальників озброєння та військової техніки, використано час, витрати та ризики виробництва та постачання. Досліджено послідовність: загрози – вразливості – збитки, яка пов'язана з появою загроз у логістиці виробництва та постачання озброєння й військової техніки для встановлення військового паритету сил у зоні конфлікту. Представлено, як поява загрози впливає на збудження вразливостей в логістиці виробництва та постачання військової техніки, що призводить до виникнення збитків у зоні бойових дій (загибель особового складу, порушення оборонної інфраструктури, перехід від наступальних дій до оборонних, тощо). Розроблено метод підвищення ефективності використання озброєння за рахунок сучасної зброї, що дозволяє, шляхом створення асиметрії у військовому паритеті сил, успішно виконати цілі бойової операції у зоні конфлікту. Розроблена агентна імітаційна модель для дослідження логістичного процесу встановлення військового паритету сил у зоні воєнного конфлікту. За допомогою агентної імітаційної моделі розраховуються час постачання, формуються раціональні маршрути транспортування військових вантажів, з урахуванням загроз воєнного часу.

Використані математичні методи та методи моделювання: системний аналіз, агентне імітаційне моделювання, теорія експерименту, метод експертного оцінювання, метод цілочисельної оптимізації, використання лінгвістичних змінних.

Запропонований підхід дозволяє, при плануванні цілей військової операції, сформулювати вимоги щодо виробництва та постачання озброєння та військової техніки, для встановлення військового паритету сил у зоні бойових дій, що сприяє успішності виконання військової операції.

Література

1. Степанюк, М. Ю. Проблема створення інформаційної системи логістики в збройних силах України, що відповідає стандартам НАТО [Текст] / М. Ю. Степанюк, І. П. Сініцин, О. В. Котеля // Проблеми програмування. – 2018. – № 4. – С. 101-110. DOI: 10.15407/pp2018.04.101.

2. Наконечний, О. Аналіз умов та факторів, що впливають на ефективність функціонування

системи логістики сил оборони держави [Текст] / О. Наконечний // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – 2019. – Т. 3, №. 55. – С. 48-57. DOI: 10.26906/SUNZ.2019.3.048.

3. Моделювання транспортної логістики військових вантажів з урахуванням збитків, які виникають у зоні бойових дій через запізнення у постачанні [Текст] / О. Є. Федорович, О. С. Урусський, І. Б. Чепков, М. І. Луханін, Ю. Л. Прончаков, К. О. Рыбка, Ю. О. Леценко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2022. – № 2. – С. 63-74. DOI: 10.32620/reks.2022.2.05.

4. Value stream analysis in military logistics: The improvement in order processing procedure [Text] / R. Acero, M. Torralba, R. Pérez-Moya, J. A. Pozo // *Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 10, No. 1. – Article No. 106. DOI: 10.3390/app10010106.

5. Федорович, О. Є. Метод формування логістичних транспортних взаємодій для нового портфелю замовлень розподіленого віртуального виробництва [Text] / О. Є. Федорович, Ю. Л. Прончаков // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2020. – № 2. – С. 102-108. DOI: 10.32620/reks.2020.2.09.

6. Гаврилюк, І. Ю. Концептуальні основи управління потоками в системі логістичного забезпечення Збройних Сил України [Текст] / І. Ю. Гаврилюк, О. Й. Мацько, В. О. Дачковський // *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. – 2019. – Т. 34, № 1. – С. 37-44. DOI: 10.33099/2311-7249/2019-34-1-37-44.

7. Milewski, R. Decision making scenarios in military transport processes [Text] / R. Milewski, T. Smal // *Archives of Transport*. – 2018. – Vol. 45, Iss. 1. – P. 75-91. DOI: 10.5604/01.3001.0012.0945.

8. Barbu, M.-L. Theoretical considerations concerning the setting of the capability requirements specific to combat engineers structures supporting management activities from the airfield [Text] / M.-L. Barbu // *Journal of Defense Resources Management*. – 2019. – Vol. 10, No. 2(19). – P. 188-196.

9. Raskin, L. Dynamic problem of formation of securities portfolio under uncertainty conditions [Text] / L. Raskin, O. Sira, T. Katkova // *EUREKA: Physics and Engineering*. – 2019. – No. 6. – P. 73-82. DOI: 10.21303/2461-4262.2019.00985.

10. Pecina, M. Application of the new NATO logistics system [Text] / M. Pecina, J. Husak // *Land Forces Academy Review*. – 2018. – Vol. 23, No. 2. – P. 121-127. DOI: 10.2478/raft-2018-0014.

11. Universal method for solving optimization problems under the conditions of uncertainty in the initial data [Text] / L. Raskin, O. Sira, L. Sukhomlyn, Y. Parfeniuk // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2021. – Vol. 1, No. 4(109). – P. 46-53. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225515.

12. Development of a model of the service system of batch arrivals in the passengers flow of public transport [Text] / L. Raskin, O. Sira, O. Palant, Y. E. Vodovozov // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019. – Vol. 5, No. 3(101). – P. 51-56. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.180562.

13. Development of methods for supply management in transportation networks under conditions of uncertainty of transportation cost values [Text] / L. Raskin, O. Sira, Y. Parfeniuk, K. Bazilevych // *EUREKA: Physics and Engineering*. – 2021. – No. 2. – P. 108-123. DOI: 10.21303/2461-4262.2021.001691.

References

1. Stepaniuk, M. Y., Sinityn, I. P., Kotelia, O. V. Problema stvorennya informatsiyoi systemy lohistyky v zbroynykh sylakh Ukrainy, shcho vidpovidaye standartam NATO [About applicability of NATO logistics information systems in Ukraine]. *Problemy prohramuvannya – Problems in programming*, 2018, no. 4, pp. 101-110. DOI: 10.15407/pp2018.04.101.

2. Nakonechnyi, O. Analiz umov ta faktoriv, shcho vplyvayut' na efektyvnist' funktsionuvannya systemy lohistyky syl obrony derzhavy [Analysis of conditions and factors influencing the efficiency of the system of logistics of the country defense forces]. *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku. Zbirnyk naukovykh prats' – Control, navigation and communication systems. academic journal*, 2019, vol. 3, no. 55, pp. 48-57. DOI: 10.26906/SUNZ.2019.3.048.

3. Fedorovych, O. E., Uruskyi, O. S., Chepkov, I. B., Lukhanin, M. I., Pronchakov, Yu. L., Rybka, K. O., Leshchenko, Yu. O. Modelyuvannya transportnoi lohistyky viys'kovykh vantazhiv z urakhuvanniam zbytkiv, yaki vynykayut' u zoni boyovykh diy cherez zapiznennya u postachanni [Simulation of transport logistics of military cargo considering the losses occurring in the war zone due to delays in delivery]. *Radioelektronni i komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems*, 2022, no. 2, pp. 63-74. DOI: 10.32620/reks.2022.2.05.

4. Acero, R., Torralba, M., Pérez-Moya, R., Pozo, J. A. Value stream analysis in military logistics: The improvement in order processing procedure. *Applied Sciences*, 2020, vol. 10, no. 1, article no. 106. DOI: 10.3390/app10010106.

5. Fedorovich, O., Pronchakov, Y. Metod formuvannya lohistychnykh transportnykh vzayemodiy dlya novoho portfelyu zamovlen' rozpodilenooho virtual'noho vyrobnytstva [Method to organize logistic transport interactions for the new order portfolio of distributed virtual manufacture]. *Radioelektronni i*

komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems, 2020, no. 2, pp. 102-108. DOI: 10.32620/reks.2020.2.09.

6. Havryliuk, I., Matsko, O., Dachkovskiy, V. Kontseptual'ni osnovy upravlinnya potokamy v systemi lohistychnoho zabezpechennya Zbroynykh Syl Ukrayiny [Conceptual basis of flow management in the system of logistic support of the armed forces of Ukraine]. *Suchasni informatsiyni tekhnolohiyi u sferi bezpeky ta oborony – Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, 2019, vol. 34, no. 1, pp. 37-44. DOI: 10.33099/2311-7249/2019-34-1-37-44.

7. Milewski, R., Smal, T. Decision making scenarios in military transport processes. *Archives of Transport*, 2018, vol. 45, iss. 1, pp. 75-91. DOI:10.5604/01.3001.0012.0945.

8. Barbu, M.-L. Theoretical considerations concerning the setting of the capability requirements specific to combat engineers structures supporting management activities from the airfield. *Journal of Defense Resources Management*, 2019, vol. 10, no. 2(19), pp. 188-196.

9. Raskin, L., Sira, O., Katkova, T. Dynamic problem of formation of securities portfolio under uncertainty conditions. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2019, no. 6, pp. 73-82. DOI:

10.21303/2461-4262.2019.00985. Raskin, L., Sira, O., Katkova, T. Dynamic problem of formation of securities portfolio under uncertainty conditions. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2019, no. 6, pp. 73-82. DOI: 10.21303/2461-4262.2019.00985.

10. Pecina, M., Husak, J. Application of the new NATO logistics system. *Land Forces Academy Review*, 2018, vol. 23, no. 2, pp. 121-127. DOI: 10.2478/raft-2018-0014.

11. Raskin, L., Sira, O., Sukhomlyn, L., Parfeniuk, Y. Universal method for solving optimization problems under the conditions of uncertainty in the initial data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021, vol. 1, no. 4(109), pp. 46-53. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225515.

12. Raskin, L., Sira, O., Palant, O., Vodovozov, Y. E. Development of a model of the service system of batch arrivals in the passengers flow of public transport. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019, vol. 5, no. 3(101), pp. 51-56. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.180562.

13. Raskin, L., Sira, O., Parfeniuk, Y., Bazilevych, K. Development of methods for supply management in transportation networks under conditions of uncertainty of transportation cost values. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2021, no. 2, pp. 108-123. DOI: 10.21303/2461-4262.2021.001691.

Надійшла до редакції 10.05.2022, розглянута на редколегії 27.07.2022

SIMULATION OF THE LOGISTICS TO ESTABLISH PARITY OF MILITARY FORCES IN A WAR ZONE

Oleg Fedorovich, Oleg Uruskiy, Yurii Pronchakov, Andrii Rybka, Yuliia Leshchenko

A multi-variant, multi-criteria task related to the simulation of the logistic process to establish the parity of military forces in the military conflict zone, which contributes to the successful implementation of the military operating goals, is set and solved. The relevance of the study is related to the analysis of the threats toward the parity of military forces and the threats of logistic nature caused by weapons and military equipment supply that result in the losses in the military conflict zone (losses of personnel, damages of defensive structures, transition from offensive actions to defensive ones, etc.). The study simulates the actions to establish the parity of forces in a military conflict zone in the conditions of threats and vulnerabilities related to the logistics of weapons and military equipment supplied to the war zone. The carried-out analysis of the other papers in this field revealed the shortcomings of the already existing approaches – they are aimed to study just individual components of the whole process of establishing the parity of military forces in the conflict zone, so for now, there is no comprehensive solution to the problem that makes it possible to consider the logistic aspects as well. Threat factors related to the supply of the required types and quantities of weapons to the war zone are investigated based on the qualitative assessments of military experts and lexicographic ordering of potential suppliers of weapons and military equipment. The optimization of selects the suppliers of weapons and military equipment by using integer (Boolean) programming is done. The logical sequence of actions is presented in the form of threat – vulnerabilities – damages and is investigated further by means of the theory of experiment method in the form of a full factorial experiment based on the assessments provided by military experts. The agent simulation model is created to study the logistics of military equipment supply to establish the parity of military forces in the conflict zone. This model includes the agents associated with the appearance of

threats, arising of vulnerabilities, and the incurring of losses in the war zone. The supply of military equipment in a heterogeneous transport network considering the possible transshipment from one highway to another and potential temporary storage of military cargo is simulated. By using the proposed agent simulation model, the actual terms of weapons and military equipment supply in conditions of wartime threats are determined. The method to increase the efficiency of the weapons in the war zone is created using the modern types of weapons and applying of asymmetry in the military parity of forces (advantage of quality over quantity). The optimization tasks are solved in conditions of conflicting criteria of time, costs and risks related to the logistics of the process of establishing of military forces parity in the war zone. The scientific novelty of the research being conducted is related to the development of the new method based on the simulation of the logistic process of establishing military forces parity in the war zone, which allows to successfully meet the set of military operating goals.

Keywords: parity of military forces; logistics of weapons and military equipment supply; threats and vulnerabilities in wartime; losses in the military conflict zone; logistics of the military equipment supply; agent-based simulation; optimization of time costs and risks.

Федорович Олег Євгенович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. комп’ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Уруський Олег Семенович – д-р техн. наук, старш. наук. співроб., «Прогрестех-Україна», Київ, Україна.

Прончаков Юрій Леонідович – канд. техн. наук, доцент, декан факультету програмної інженерії та бізнесу, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Рибка Андрій Вікторович – асп. каф. комп’ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Лещенко Юлія Олександрівна – канд. техн. наук, доц. каф. комп’ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Oleg Fedorovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: o.fedorovych@khai.edu, ORCID: 0000-0001-7883-1144.

Oleg Uruskiy – Doctor of Technical Science, Senior Researcher, "Progrestech-Ukraine", Kiev, Ukraine, e-mail: Poexp2005@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2374-5318.

Yurii Pronchakov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Software Engineering and Business Faculty, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"; Kharkiv, Ukraine, e-mail: pronchakov@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0027-1452.

Andrii Rybka – PhD student of the Department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: a.rybka@khai.edu.

Yuliia Leshchenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Sciences and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: j.leshchenko@khai.edu, ORCID: 0000-0001-9232-697X.