

УДК 623:355.242:004.942

doi: 10.32620/aktf.2023.2.06

О. Є. ФЕДОРОВИЧ¹, Л. М. ЛУТАЙ¹, Ю. А. МАЛЄЄВА¹,
Я. О. ЗАМІРЕЦЬ², Т. С. ПІСКЛОВА¹

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

² Державне підприємство "Науково-дослідний технологічний інститут
приладобудування", Харків, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ФОРМУВАННЯ ЗАПАСІВ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ В ЗОНІ ВОЄННОГО КОНФЛІКТУ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМПОНЕНТНОГО МЕТОДУ

Сформульована та вирішується задача дослідження багатокомпонентного складу військової техніки (танки, артилерія, авіаційна техніка, тощо) при постачанні та формуванні необхідних запасів озброєння та його комплектуючих в зоні воєнного конфлікту, для встановлення військового паритету сил. Актуальність дослідження пов'язана з комплексним розв'язанням задачі формування необхідних запасів озброєння та його комплектуючих в зоні бойових дій, в умовах воєнних загроз. Метою дослідження є використання компонентного методу для представлення озброєння та його комплектуючих, в процесі комплексного постачання військової техніки в зону бойових дій, для створення військового паритету сил. Проаналізовані проблеми постачання озброєння та його комплектуючих в умовах воєнного стану, які пов'язані зі складною багатокомпонентною структурою воєнної техніки, обмеженими можливостями виробників та постачальників озброєння, логістичними ризиками постачання в умовах воєнних загроз. Запропонована багатошарова компонентна структура військової техніки для системного представлення озброєння та його комплектуючих в процесі постачання та формування запасів в зоні воєнного конфлікту. Аналізується логістика постачання озброєння та його комплектуючих з армійських складів та складів виробників воєнної техніки. Обмежені можливості виробників та постачальників воєнної техніки призводять до ускладнення формування необхідних запасів військової техніки в зоні воєнного конфлікту, що може вплинути на характер проведення бойових дій (перехід від наступальних дій до оборонних). Нестача військової техніки призводить до необхідності формування оборонних замовлень для створення та випуску нових зразків озброєння, у тому числі з підвищеними характеристиками боєдатності (дальність, точність, зона ураження, тощо). Тому для створення нової зброї або модернізації існуючих зразків запропоновано використовувати багатокомпонентну архітектуру сучасного зразку військової техніки з урахуванням можливих типів компонент (повторного використання, адаптивні, нові). Запропоновано алгоритм формування багатокомпонентної та багатошарової архітектури сучасного озброєння з використанням прецедентного підходу. Для цього створюється база прецедентів, яка використовується для пошуку існуючих компонент повторного використання. Для оцінки близькості компонент, у процесі пошуку в базі прецедентів, використовуються як кількісні, так і якісні оцінки близькості. Створена модель для оптимізації логістичних витрат постачання озброєння та їх комплектуючих в зону бойових дій. В якості показників постачання використовуються обсяги озброєння та їх комплектуючих, час постачання, ризики постачання в умовах воєнних загроз. Сформовані вимоги до обсягів постачання військової техніки в умовах ризиків воєнного стану. Наукова новизна дослідження пов'язана з використанням компонентного методу, за допомогою якого формується логістика постачання озброєння та його комплектуючих в зону воєнного конфлікту, з урахуванням обмежених можливостей виробників та постачальників військової техніки, в умовах загроз воєнного стану. Результати дослідження доцільно використовувати для моделювання планів та логістики постачання озброєння та його комплектуючих в зону бойових дій для створення військового паритету сил.

Ключові слова: компонентна архітектура військової техніки; типи компонент; запаси озброєння; логістика постачання військової техніки; база прецедентів; оптимізація логістичних витрат.

Вступ

Використання різноманітної військової техніки (важке озброєння, авіаційна техніка, тощо), в умовах

воєнного стану, призводить до необхідності аналізу потрібної кількості та номенклатури озброєння, з урахуванням складу її комплектуючих, для створення військового паритету сил в зоні воєнного

конфлікту [1-3]. Виникає складна логістика постачання малих партій озброєння та його комплектуючих від виробників та постачальників, які знаходяться на великій відстані від зони бойових дій [4-6]. При формуванні запасів військової техніки необхідно враховувати склад комплектуючих, які забезпечують ефективність використання озброєння (боєприпаси, запчастини, ремкомплекти, допоміжна техніка) [7-9]. Немалий час потребує логістика підготовки військових для використання сучасного озброєння. Все перелічене, у цілому, має вплив на формування боєздатності озброєння та встановлення військового паритету сил у зоні воєнного конфлікту [10].

Тому, актуальна тема запропонованої публікації, в якій наведені результати дослідження використання компонентного методу та прецедентного підходу для аналізу логістики постачання та формування запасів озброєння і його комплектуючих в зоні бойових дій [11-13].

Проаналізовані існуючі логістичні проблеми оперативного-тактичного характеру щодо встановлення військового паритету сил в зоні воєнного конфлікту:

1. Проблема множини складу комплектуючих озброєння та малих партій постачання в зону воєнного конфлікту. В існуючій літературі формування запасів озброєння та його комплектуючих розглядається, в основному, у мирний час. Формуються армійські запаси озброєння та запаси виробників, здійснюються довгострокові плани щодо формування запасів озброєння на достатньо великий термін часу [14, 15].

2. Логістична проблема, пов'язана з постачанням озброєння та його комплектуючих в логістичних каналах, в умовах воєнних загроз. В мирний час, формування запасів воєнної техніки здійснюється за заздалегідь сформованим план-графіком та логістичними ланцюгами постачання [16].

3. Проблема ризиків воєнних загроз, яка призводить до збоїв та зупинки постачання військової техніки. В мирний час, загрози пов'язані з можливими поломками транспорту, аваріями на транспортних магістралях, впливом кліматичних факторів, появою терористичних загроз [17].

4. Проблема своєчасності у постачанні озброєння та його комплектуючих пов'язана з військовими обставинами та характером бойових дій в зоні воєнного конфлікту. В мирний час, при постачанні військової техніки, враховуються вимоги до формування запасів озброєння та його комплектуючих у відповідності за заздалегідь складеними планами формування запасів на армійських складах [18-20].

Метою дослідження є моделювання комплексного формування необхідної кількості озброєння та

комплектуючих в зоні бойових дій, шляхом постачання військової техніки в умовах ризиків воєнного стану за допомогою компонентного методу та прецедентного підходу.

Вирішуються наступні задачі:

1. Сформувати компонентну структуру військової техніки для системного представлення озброєння та його комплектуючих.

2. Розробити компонентний метод для створення та виробництва нових зразків воєнної техніки.

3. Провести оптимізацію логістичних витрат постачання для формування запасів озброєння та його комплектуючих в зоні бойових дій.

1. Формування компонентної структури військової техніки для системного представлення озброєння та його комплектуючих

Для ефективного використання озброєння в зоні воєнного конфлікту, необхідно комплексно постачати, у потрібній кількості, всі складові військової техніки (ВТ), пов'язаних з ефективним функціонуванням зброї:

- боєприпаси (В);
- запчастини та ремкомплекти (Z);
- допоміжна техніка (буксири, тягачі, платформи, тощо) (V);
- мобільні майстерні для ремонту військової техніки (М).

Відсутність у необхідній кількості комплектуючих озброєння в зоні воєнного конфлікту (ЗВК) (виконання нормативів НАТО) призводить до зниження боєздатності військової техніки, а також не ефективного використанню озброєння. Тому, актуально системно представити архітектуру військової техніки у вигляді озброєння та його забезпечуючих компонент.

На рис. 1 представлена компонентна структура окремого виду військової техніки (наприклад, важке озброєння). Тут, на верхньому рівні знаходяться види озброєння, які використовуються в зоні бойових дій. На наступному рівні представлені забезпечуючі комплектуючі компоненти (В, Z, V, М). На третьому рівні знаходяться компоненти, які входять до складу забезпечуючих компонент. Деталізацію військової техніки можна продовжити далі, враховуючи при цьому не тільки процеси постачання зброї та його комплектуючих у зону бойових дій, а також процеси виробництва військової техніки. Наприклад, для створення снарядів 155 калібру необхідно налагодити виробництво:

- корпус снаряду;
- вибухова речовина;

- зривник (детонатор);
- головка наведення на ціль.

Сучасний підхід до створення воєнної техніки заснований на вимогах стандартів та нормативів НАТО, дозволяє шляхом комбінації існуючих компонент (компоненти повторного використання) створювати нову зброю. Тому, доцільно використовувати компонентний метод при моделюванні створення нових видів (типів) озброєння.

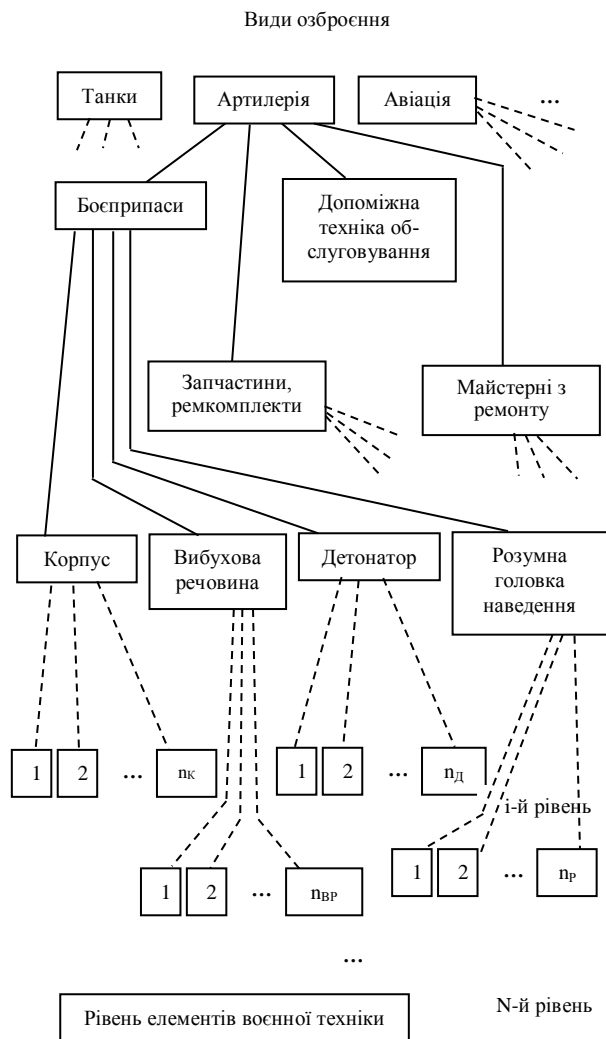


Рис. 1. Компонентна структура окремого виду військової техніки

Можна виділити наступні типові компоненти для створення нової військової техніки:

- компоненти повторного використання (КПВ), які можна залучити до різних видів та типів озброєння (наприклад, 105 та 155 калібри боеприпасів можна використовувати в різних гаубицях, системах залпового вогню, тощо);

- компоненти, які шляхом адаптації КПВ, можна використовувати при створенні нових зразків озброєння;

- нові компоненти (НК) інноваційного характеру. Ці компоненти необхідно застосувати для створення інноваційних зразків військової техніки.

Необхідно відмітити, що створення нових зразків озброєння, з переважним використанням компонент КПВ, дозволяє мінімізувати ризики, час створення та витрати. Але, при цьому значення тактико-технічних характеристик озброєння та ефективність бойового використання, не буде сильно відрізнятися від існуючих. Переважне використання інноваційних компонент дозволяє поліпшати тактико-технічні характеристики для бойового використання озброєння (точність, дальність, зона ураження, тощо), але при цьому збільшуються ризики, час та витрати проекту. Компроміс знаходиться в комбінованому використанні компонент КПВ, АК та НК у складі військової техніки, яка створюється, що дозволяє, при задовільних ризиках часу та витрат проекту, створювати нові зразки військової техніки з поліпшеними характеристиками.

Використання компонентного методу, для представлення багатопланової структури військової техніки, дозволяє системно проаналізувати логістику постачання та комплексного формування запасів озброєння, його комплектуючих в зоні воєнного конфлікту, з урахуванням двох основних напрямків:

1. Постачання військової техніки з армійських складів та складів виробників.

2. Виробництво військової техніки для постачання та формування необхідних запасів в зоні воєнного конфлікту.

Необхідно відмітити, що логістика комплексного формування запасів військової техніки, в зоні воєнного конфлікту, відноситься до типу «тягнутої» логістичної системи. В цьому випадку, вимоги до обсягів запасів військової техніки формуються на оперативно-тактичному рівні, з урахуванням обстановки та цілей військової операції в зоні воєнного конфлікту. Ці вимоги, з початку, аналізуються на рівні армійських складів. У випадку, недостатньої кількості запасів, на армійських складах, здійснюється аналіз можливості постачання зі складів виробників. У випадку, незадовільнення вимог щодо комплексного формування запасів військової техніки, в зоні воєнного конфлікту, з використанням армійських складів та складів виробників, формуються плани виробництва для ліквідації дефіциту озброєння та його комплектуючих.

Компонентний метод дозволяє, з урахуванням використання компонент КПВ, АК та НК, формувати вимоги до логістики комплексного формування запасів військової техніки в зоні воєнного конфлікту, у вигляді наступної послідовності дій:

1. Спочатку, на оперативно-тактичному рівні з використанням експертних оцінок військових фахів-

вців, формуються вимоги до необхідної кількості W_j j -го виду військової техніки для використання в зоні воєнного конфлікту. На першому рівні формуються вимоги до забезпечуючих компонент озброєння W_{j1} .

2. Здійснюється перевірка наявності потрібної кількості військової техніки W_{j1} на армійських складах. Якщо $W_{j1} \leq W'_{j1}$ (де W'_{j1} – наявність ВТ j -го виду на армійських складах), то здійснюється постачання потрібної кількості W_{j1} в ЗВК для формування запасів за j -м видом озброєння.

3. Якщо $W_{j1} > W'_{j1}$, то здійснюється перевірка наявності W''_{j1} на складах виробників. Якщо $W_{j1} \leq W'_{j1} + W''_{j1}$, то здійснюється постачання W_{j1} в ЗВК.

4. Якщо $W_{j1} > W'_{j1} + W''_{j1}$, то в цьому випадку формуються плани виробництва щодо випуску $\Delta W_{j1} \geq W_{j1} - (W'_{j1} + W''_{j1})$

5. Для реалізації планів виробництва ΔW_{j1} необхідно сформувати допоміжні плани щодо випуску забезпечуючих компонент другого рівня представлення компонентної архітектури ВТ (В, Z, W, M). При цьому необхідно:

$$\Delta W_{j2_B} \geq W_{j2_B} - (W'_{j2_B} + W''_{j2_B}),$$

$$\Delta W_{j2_Z} \geq W_{j2_Z} - (W'_{j2_Z} + W''_{j2_Z}),$$

$$\Delta W_{j2_V} \geq W_{j2_V} - (W'_{j2_V} + W''_{j2_V}),$$

$$\Delta W_{j2_M} \geq W_{j2_M} - (W'_{j2_M} + W''_{j2_M}),$$

де $\Delta W_{j2_B}, \Delta W_{j2_Z}, \Delta W_{j2_V}, \Delta W_{j2_M}$ – потрібна кількість боєприпасів, запчастин, допоміжної техніки, мобільних майстерень для комплексного постачання військової техніки в зону воєнного конфлікту.

6. Далі, якщо виникає необхідність виробництва компонент для i -го рівня представлення компонентної архітектури ВТ, то у цьому випадку необхідно:

$$\Delta W_{ji_B} \geq W_{ji_B} - (W'_{ji_B} + W''_{ji_B}),$$

$$\Delta W_{ji_Z} \geq W_{ji_Z} - (W'_{ji_Z} + W''_{ji_Z}),$$

$$\Delta W_{ji_V} \geq W_{ji_V} - (W'_{ji_V} + W''_{ji_V}),$$

$$\Delta W_{ji_M} \geq W_{ji_M} - (W'_{ji_M} + W''_{ji_M}).$$

Таким чином, використання компонентного методу, при комплексному формуванні запасів військової техніки, з використанням складів та виробництва комплектуючих, дозволяє сформувати вимоги до обсягу запасів та планів виробництва для різних рівнів представлення компонент.

2. Компонентний метод для створення та виробництва нових зразків воєнної техніки

При створенні нових зразків військової техніки, до складу виробу може бути залучене не тільки компоненти повторного використання (КПВ), але також адаптивні компоненти (АК) та інноваційні (НК) компоненти. На початкових етапах створення ВТ необхідно сформувати компонентну архітектуру виробу з урахуванням тактико-технічних характеристик (ТТХ), які викладені в технічному завданні проєкту.

Запропоновано метод синтезу нових виробів ВТ, з урахуванням багаторівневої компонентної архітектури, який заснований на активному використанні існуючих компонент (КПВ), що дозволяє мінімізувати ризики проєкту та скоротити строки створення актуального озброєння для використання в зоні воєнного конфлікту. Компонентний метод складається з наступних етапів:

1. На початку, формується компонентний склад виробу ВТ на рівні підсистем. Вказуються ТТХ для кожного компоненту. Проводимо пошук існуючих компонент, з потрібними ТТХ, в базі даних, яка сформована з урахуванням минулих розробок, а також існуючого озброєння. База даних компонент буде представлена у вигляді бази прецедентів (БП), в якій акумулюється досвід минулих розробок.

2. В процесі синтезу, можливі наступні напрямки створення компонентної архітектури нового виробу ВТ:

2.1. В базі БП є потрібні компоненти для формування компонентної архітектури виробу на першому рівні (рівень підсистем). В цьому випадку, переходимо до наступного етапу проєктування.

2.2. В базі прецедентів є компоненти, ТТХ яких не повністю співпадають з потрібними у технічному завданні на проєкт. У цьому випадку, необхідно здійснити пошук близьких компонент за значенням ТТХ. Тобто, необхідно оцінити близькість між k -м прецедентом, який знаходиться в БП та потрібним p -м компонентом проєкту. При цьому, можна використовувати як кількісну, так і якісну метрики для оцінки близькості. В найпростішому методі оцінювання близькості (метрика Мінковського), близькість оцінюється за допомогою евклідової відстані:

$$\lambda_{kp} = \sqrt{\sum_{l=1}^L \rho_l (\lambda_{kl} - \lambda_{pl})^2},$$

де $l = \overline{1, L}$ – конкретна l -а характеристика компоненту у ТТХ проєкту;

λ_{p1} – значення l -ї характеристики для p -ї компоненти у проєкті;

λ_{kl} – значення l -ї характеристики для k -го прецеденту в БП;

ρ_l – значимість (вага) l -ї характеристики.

На початкових етапах створення нового виробу ВТ є характеристики, близькість яких до проєкту можна оцінити якісно. У цьому випадку, оцінку близькості можна здійснювати з використанням якісного представлення. Наприклад, у вигляді літер латинського алфавіту:

$$\partial_{kp1} = \begin{cases} A - \text{максимальна близькість компонент за } l\text{-ю характеристикою;} \\ B - \text{задовільна близькість компонент за } l\text{-ю характеристикою;} \\ C - \text{допустима близькість компонент за } l\text{-ю характеристикою;} \\ D - \text{віддаленість компонент за } l\text{-ю характеристикою.} \end{cases}$$

Далі, у залежності від важливості ТТХ військової техніки, складається впорядкований список значень характеристик (у вигляді «слова»). Наприклад: В, В, А, С, В для п'яти характеристик. Тоді, якщо є в наявності не тільки один можливий близький компонент, а декілька в базі прецедентів, то формується список «слів». Наприклад:

В, В, С, А, В
В, В, D, С, В
С, В, D, С, В
В, В, А, С, В
А, С, D, А, С.

Список «слів» лексикографічно впорядковується та приймає наступний вигляд:

А, С, D, А, С
В, В, А, С, В
В, В, С, А, В
В, В, D, С, В
С, В, D, С, В.

Далі задається допустиме зазначення близькості у вигляді «контрольного слова». Наприклад:

В,В,В,В,В.

«Контрольне слово» розміщується у впорядкованому списку «слів»:

А, С, D, А, С
В, В, А, С, В
В,В,В,В,В
В, В, С, А, В
В, В, D, С, В
С, В, D, С, В.

Далі, обираємо найближчу компоненту за значенням характеристики в БП, яка є сусідньою до «контрольного слова»: В, В, А, С, В. Цю компоненту використаємо у подальшому проєктуванні.

2.3. В БП існуючих компонент, відсутня компонента з потрібною близькістю за характеристиками. У цьому випадку, переходимо до декомпозиції компоненти проєкту i -го рівня на можливі компоненти нижнього $(i+1)$ рівня багатокомпонентної архітектури виробу та здійснюємо пошук потрібних компонент в БП на $(i+1)$ рівні представлення. Далі повторюємо дії п.2.

2.4. Можлива ситуація пов'язана з проєктуванням нової інноваційної компоненти (рис. 2). На рис. 2 представлена схема компонентного синтезу ВТ.

3. Оптимізація логістичних витрат постачання для формування запасів озброєння та його комплектуючих в зоні бойових дій

Складність комплексного постачання озброєння в ЗВК, пов'язана з множиною забезпечуючих компонент військової техніки, які необхідні для ефективного використання озброєння (боєприпаси, запчастини, ремкомплекти, допоміжна техніка для обслуговування, підготовка військових, тощо). Тому, актуальна задача оптимізації логістичних витрат для своєчасного постачання озброєння та його комплектуючих компонент в ЗВК, для створення військового паритету сил. Боездатність окремого j -го виду ВТ в ЗБД, буде залежати від комплексного постачання в необхідній кількості забезпечуючих компонент (В, Z, V, M). Для створення запасів озброєння W_j j -го виду необхідно, щоб кількість озброєння знаходилась в інтервалі:

$$W_{j\min} \leq W_j \leq W_{j\max},$$

тут $W_{j\min}$ відповідає страховим запасам W_j в ЗВК, які забезпечують, з урахуванням воєнних ризиків, ста-

новлення військового паритету сил для *j*-го виду ВТ (при цьому, не порушується характер бойових дій).

мування запасів забезпечуючих комплектуючих компонент *j*-го виду озброєння (В, Z, V, M):

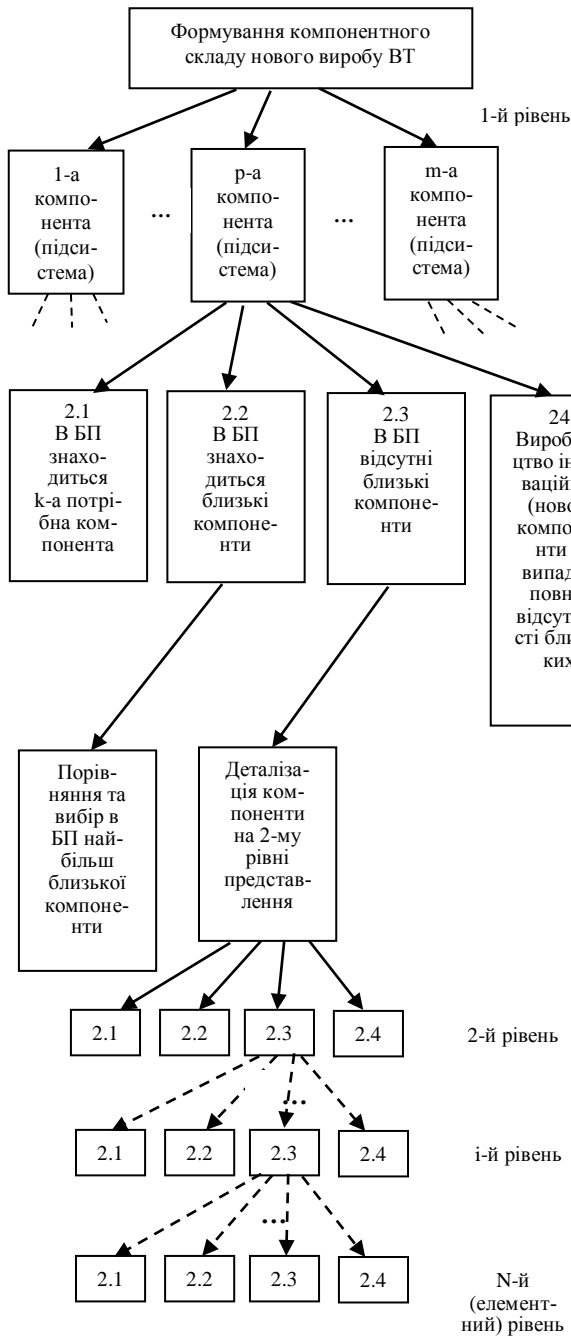


Рис. 2. Схема компонентного синтезу нового виробу ВТ

Значення W_{jmax} створює асиметрію у військово-му паритеті сил, що може забезпечити зміну характеру бойових дій (перехід від оборонних дій до наступальних). Тому, планування запасів озброєння у межах $W_{jmin} \leq W_j \leq W_{jmax}$ є основою для успішного виконання цілей військової операції. Також, необхідно виконувати аналогічні вимоги для фор-

$$W_{jBmin} \leq W_{jB} \leq W_{jBmax},$$

$$W_{jZmin} \leq W_{jZ} \leq W_{jZmax},$$

$$W_{jVmin} \leq W_{jV} \leq W_{jVmax},$$

$$W_{jMmin} \leq W_{jM} \leq W_{jMmax}.$$

Комплексне постачання озброєння та її забезпечуючих компонент, може здійснюватися за множиною можливих логістичних каналів (ЛК). Тому актуальне вирішення задачі оптимізації вибору ЛК з урахуванням логістичних витрат та вимог до своєчасного формування запасів військової техніки в ЗБД, в умовах можливих воєнних ризиків R_j . Оптимізаційна задача відноситься до класу багатоваріантних задач з використанням множини показників та обмежень. Для вирішення поставленої оптимізаційної задачі скористаємось методом цілочисельного (булевого) програмування. Введемо булеву змінну X_{jik} , яка має наступні значення:

$$X_{jik} = \begin{cases} 1, \text{ якщо для постачання } i\text{-х компонент} \\ \text{ } j\text{-го виду озброєння обрано} \\ \text{ } k\text{-й логістичний канал;} \\ 0, \text{ в іншому випадку.} \end{cases}$$

Представимо логістичні показники постачання військової техніки в ЗБД у наступному вигляді:

1. Обсяг запасу ВТ, який формується в ЗБД:

$$W = \sum_{j=1}^Q \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_{ij}} w_{jik} X_{jik},$$

де w_{jik} – кількість *i*-х компонент *j*-го виду ВТ, які постачаються за *k*-м можливим ЛК;

n_{ij} – кількість можливих ЛК, з яких здійснюється вибір для постачання *i*-х компонент *j*-го виду ВТ;

n_j – множина різних компонент *j*-го виду ВТ;

Q – кількість видів ВТ, які надходять до ЗБД;

$i=1$ відповідає озброєнню, $i=2, \dots$, відносяться до забезпечуючих компонент озброєння.

2. Час постачання ВТ в ЗБД:

$$T = \sum_{j=1}^Q \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_{ij}} t_{jik} X_{jik},$$

де $T \leq T'$, T' – допустимий час, який забезпечує своєчасне постачання озброєння в ЗБД;

t_{jik} – час постачання партій *i*-х компонент для *j*-го виду озброєння за обраним *k*-м ЛК.

3. Ризики постачання ВТ в ЗБД, в умовах воєнного стану:

$$R = \sum_{j=1}^Q \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_{ij}} r_{jik} X_{jik},$$

де $R \leq R'$, R' – допустимий ризик постачання озброєння в ЗБД;

r_{jik} – ризики постачання партій i -х компонент для j -го виду озброєння за обранням k -м ЛК.

4. Логістичні витрати, які пов'язані з постачанням ВТ в ЗБД:

$$L = \sum_{j=1}^Q \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_{ij}} l_{jik} X_{jik},$$

де $L \leq L'$, L' – допустимі логістичні витрати постачання,

l_{jik} – логістичні витрати, які пов'язані з постачанням i -х компонент для j -го виду озброєння за обранням k -м ЛК.

Для формування необхідних запасів ВТ в ЗБД, в умовах воєнних ризиків, для створення військового паритету сил, необхідно:

$$\max W, W = \sum_{j=1}^Q \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_{ij}} w_{jik} X_{jik},$$

з урахуванням $W_{jik_{\min}} \leq W_{jik} \leq W_{jik_{\max}}$ для всіх j, i, k .

При цьому необхідно виконати наступні умови:

$$T \leq T', T = \sum_{j=1}^Q \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_{ij}} t_{jik} X_{jik},$$

$$R \leq R', R = \sum_{j=1}^Q \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_{ij}} r_{jik} X_{jik},$$

$$L \leq L', L = \sum_{j=1}^Q \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_{ij}} l_{jik} X_{jik}.$$

Для своєчасного постачання та формування необхідних запасів ВТ в ЗБД, в умовах воєнного стану, необхідно:

$$\min T, T = \sum_{j=1}^Q \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_{ij}} t_{jik} X_{jik},$$

з урахуванням наступних обмежень:

$$W \geq W', W = \sum_{j=1}^Q \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_{ij}} w_{jik} X_{jik},$$

$$R \leq R', R = \sum_{j=1}^Q \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_{ij}} r_{jik} X_{jik},$$

$$L \leq L', L = \sum_{j=1}^Q \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_{ij}} l_{jik} X_{jik}.$$

Вирішення поставлених оптимізаційних задач, з булевими змінними, може здійснюватися одним з можливих методів цілочисельної оптимізації (наприклад, модифікований метод гілок та меж).

Висновки

Проведене дослідження пов'язане з моделюванням комплексного постачання військової техніки в зону бойових дій у вигляді озброєння та забезпечуючих компонент. Сформовано представлення військової техніки у вигляді компонентної структури. Проаналізовані проблеми з комплексним постачанням військової техніки в зону бойових дій, які пов'язані: з різноманіттям та множиною озброєння та його комплектуючих, малими партіями постачання, складною логістикою постачання, ризиками своєчасного постачання для формування запасів військової техніки. За допомогою системного аналізу створена багатокомпонентна структура військової техніки, яка включає озброєння та її основні компоненти у вигляді багатопарової архітектури. Відокремлені основні типи компонент військової техніки: компоненти повторного використання, які забезпечують уніфікацію та можливість багаторазового використання у різних видах військової техніки; нові компоненти, які необхідно розробити у проєктах створення сучасної техніки; адаптовані компоненти, які шляхом модифікації компонент повторного використання, можуть бути використані у складі нової військової техніки. Формування багатопарової архітектури військової техніки здійснюється з урахуванням відокремлених типів компонент. Створення запасів військової техніки (озброєння та комплектуючих) в зоні воєнного конфлікту здійснюється з використанням: армійських складів, складів виробників, а також шляхом виробництва необхідної кількості озброєння. Розроблено алгоритм формування запасів озброєння з урахуванням значень страхових запасів, які необхідні для встановлення військового паритету сил. При створенні нових зразків озброєння, які необхідно використовувати в зоні воєнного конфлікту, формується ком-

понентна архітектура нового зразка військової техніки за допомогою бази прецедентів, в якій містяться можливі компоненти для повторного використання. Пошук близьких компонент в базі прецедентів, необхідних для нового проєкту, здійснюється з оцінкою близькості компонент за тактико-технічними характеристиками. Запропоновані як кількісні, так і якісні оцінки близькості у вигляді лінгвістичних змінних. Створена оптимізаційна модель для вибору логістичних каналів постачання озброєння та її комплектуючих у зону воєнного конфлікту, з урахування логістичних витрат та ризиків.

Використані наступні математичні методи та моделі: системний аналіз; компонентне проєктування; прецедентний підхід; лексикографічне впорядкування варіантів; метод цілочисельного (булевого) програмування; багатокритеріальна оптимізація.

Запропонований підхід дозволяє планувати запаси озброєння, для ефективного використання в зоні бойових дій, за допомогою компонентного методу.

Внесок авторів: системне представлення структури військової техніки – **О. Є. Федорович**; використання компонентного методу для виробництва військової техніки – **Л. М. Лутай**; оптимізація запасів військової техніки – **Ю. А. Малєєва**; вибір складу компонент військової техніки – **Я. О. Замірець**; логістика постачання військової техніки – **Т. С. Пісклова**.

Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Література

1. Гаврилюк, І. Ю. Концептуальні основи управління потоками в системі логістичного забезпечення Збройних Сил України [Text] / 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.

2. 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.

3. Наконечний, О. Аналіз умов та факторів, що впливають на ефективність функціонування системи логістики сил оборони держави [Text] / 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.

4. Optimization of vehicle routing problem in military logistics on wartime [Text] / You Lyu, Jie-Hong Yuan, Yang Sun, Jie Liu, Chun-Ye. Gong // Kongzhi yu

Juece/Control and Decision. – 2019. – Vol. 34, iss. 1. – P. 121-128. DOI: 10.13195/j.kzyjc.2017.0983.

5. Školník, M. New trends in the management of logistics in the Armed Forces of the Slovak Republic [Text] / M. Školník // Zeszyty Naukowe Akademii Sztuki Wojennej. – 2018. – No. 3(112) – P. 53-63. DOI: 10.5604/01.3001.0013.0878.

6. The Impacts of Transportation System towards the Military Logistics Support in Sabah [Text] / M. Halizahari, Mohamad Faris Daud, Azizi Ahmad Sarkawi // International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. – 2022. – Vol. 12, Iss. 3. – P. 1092-1097. DOI: 10.18517/ijaseit.12.3.14516.

7. Lai, C.-M. Designing a reliable hierarchical military logistic network using an improved simplified swarm optimization [Text] / C.-M. Lai, M.-L. Tseng // Computers and Industrial Engineering. – 2022. – Vol. 169. – Article No. 108153. DOI: 10.1016/j.cie.2022.108153.

8. 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.

9. Milewski, R. Decision making scenarios in military transport processes [Text] / R. Milewski, T. Smal // Archives of Transport. – 2018. – Vol. 45, iss. 1. – P. 65-81. DOI: 10.5604/01.3001.0012.0945.

10. Моделирование профилей специалистов для планирования та выполнения проєктов зі створення інноваційних виробів аерокосмічної техніки [Текст] / М. В. Нечипорук, О. Є. Федорович, В. В. Попов, М. С. Романов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2022. – № 1 (101). – С. 23-35. DOI: 10.32620/reks.2022.1.02.

11. 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.

12. Supplying Allies: Political Economy of Coalition Warfare [Text] / Rosella Cappella Zielinski, Paul Poast // Journal of Global Security Studies. – 2021. – Vol. 6, iss. 1. – Article No. ogaa006. DOI: 10.1093/jogss/ogaa006.

13. Dimitrov, M. S. State and trends in the development of the logistic system of the Bulgarian Armed Forces [Text] / M. S. Dimitrov, V. N. Irinkov // Obronność-Zeszyty Naukowe Wydziału Zarządzania i Dowodzenia Akademii Sztuki Wojennej. – 2018. – No. 3 (27). – P. 35-44.

14. 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.

15. 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.

16. *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.

17. Федорович, О. Е. Исследование логистики снабжения и сбыта в разнородной транспортной инфраструктуре грузоперевозок [Текст] : монгр. / О. Е. Федорович, Э. Е. Рубін, Н. В. Еременко. – X. : Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2016. – 198 с.

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

19. 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, Iss. 2(19). – P. 188-196.

20. Моделювання критичних вразливостей у логістиці постачання озброєння та військової техніки в умовах воєнних загроз [Текст] / О. Є. Федорович, Є. В. Поліщук, Є. К. Чмихун, В. С. Соловійов // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2022. – № 6 (184). – С. 40-49. DOI: 10.32620/aktt.2022.6.05.

References

1. Havrylyuk, I. Yu., Mats'ko, O. Y., Dachkovs'kyu, V. O. *Kontseptual'ni osnovy upravlinnya potokamy v systemi lohystychnoho zabezpechennya Zbroynykh Syl Ukrainy* [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.

2. 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.

3. Nakonechnyy, O. *Analiz umov ta faktoriv, shcho vplyvayut' na efektyvnist' funktsionuvannya systemy lohystyky syl oborony derzhavy* [Analysis of conditions and factors influencing the efficiency of the system of logistics of the country defense forces]. *Systemy upravlinnya, navihatsiyyi 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.

4. Lyu, You., Yuan, Jie-Hong., Sun, Yang., Liu, Jie., Gong, Chun-Ye. *Optimization of vehicle routing problem in military logistics on wartime*. *Kongzhi yu Juece/Control and Decision*, 2019, vol. 34, iss. 1, pp. 121-128. DOI: 10.13195/j.kzyjc.2017.0983.

5. Školník, M. *New trends in the management of logistics in the Armed Forces of the Slovak Republic*. *Zeszyty Naukowe Akademii Sztuki Wojennej*, 2018, no. 3(112), pp. 53-63. DOI: 10.5604/01.3001.0013.0878.

6. Halizahari, M., Daud, Mohamad Faris., Sarkawi, Azizi Ahmad. *The Impacts of Transportation System towards the Military Logistics Support in Sabah*. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 2022, vol. 12, iss. 3, pp. 1092-1097. DOI: 10.18517/ijaseit.12.3.14516.

7. Lai, C.-M., Tseng, M.-L. *Designing a reliable hierarchical military logistic network using an improved simplified swarm optimization*. *Computers and Industrial Engineering*, 2022, vol. 169, article no. 108153. DOI: 10.1016/j.cie.2022.108153.

8. Fedorovich, O., Pronchakov, Y. *Metod formuvannya lohystychnykh transportnykh vzayemodiy dlya novoho portfelyu zamovlen' rozpodilenooho virtual'nooho 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.

9. Milewski, R., Smal, T. *Decision making scenarios in military transport processes*. *Archives of Transport*, 2018, vol. 45, iss. 1, pp. 65-81. DOI: 10.5604/01.3001.0012.0945.

10. Nechyporuk, M. V., Fedorovych, O. Ye., Popov, V. V., Romanov, M. S. *Modelyuvannya profiliv spetsialistiv dlya planuvannya ta vykonannya proyektiv zi stvorennya innovatsiynykh vyrobiv aerokosmichnoyi tekhniki* [Modeling of specialists' profiles for planning and implementation of projects for the creation of innovative products of aerospace techniques] *Radioelektronni i komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems*, 2022, no. 1(101), pp. 23-35. DOI: 10.32620/reks.2022.1.02.

11. 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.

12. Cappella Zielinski, Rosella., Poast, Paul. *Supplying Allies: Political Economy of Coalition Warfare*. *Journal of Global Security Studies*, 2021, vol. 6, iss. 1, article no. ogaa006. DOI: 10.1093/jogss/ogaa006.

13. Dimitrov, M. S., Irinkov, V. N. *State and trends in the development of the logistic system of the Bulgarian Armed Forces*. *Obronnosť–Zeszyty Naukowe Wydziału Zarządzania i Dowodzenia Akademii Sztuki Wojennej*, 2018, no. 3 (27), pp. 35-44.

14. 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.

15. Stepaniuk, M. Y., Sinitsyn, I. P., Kotelia, O. V. Problema stvorenniya informatsiyoi systemy lohistyky v Zbroynykh Sylakh Ukrainy, shcho vidpovidaє 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.

16. 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.

17. Fedorovych, O. Ye., Rubín, E. Ye., Yeremenko, N. V. *Issledovaniye logistiki snabzheniya i sbyta v raznorodnoy transportnoy infrastrukture gruzoperevozok* [Study of supply and marketing logistics in a heterogeneous transport infrastructure of cargo transportation]. Kharkiv, Nats. aerokosm. un-t «Khark. aviats. in-t», 2016. 198 p.

18. Fedorovych, O. Ye., Urus'kyy, O. S., Chepkov, I. B., Lukhanin, M. I., Pronchakov, Yu. L., Rybka, K. O., Leshchenko, Yu. O. Modelyuvannya transportnoy lohistyky viys'kovykh vantazhiv z urakhuvannyam 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.

19. 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, iss. 2(19), pp. 188-196.

20. Fedorovych, O., Polishchuk, Ye., Chmykhun, Ye., Solovyov, V. Modelyuvannya krytychnykh vrazlyvostey u lohistytsi postachannya ozbroynenya ta viys'kovoyi tekhniki v umovakh voyennykh zahroz [Simulation of critical vulnerabilities in the logistics of supply arms and military equipment under conditions of military threat]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2022, no. 6 (184), pp. 40-49. DOI: 10.32620/akt.2022.6.05.

Надійшла до редакції 14.12.2022, розглянута на редколегії 17.04.2023

SIMULATION OF COMPLEX FORMATION OF MILITARY EQUIPMENT STOCKS IN A COMBAT ZONE USING THE COMPONENT METHOD

*Oleg Fedorovych, Liudmyla Lutai, Yuliia Malieieva,
Iaroslav Zamirets, Tetiana Pisklova*

The task of researching the multi-component composition of military equipment (tanks, artillery, aviation equipment, etc.) for supplying and forming the necessary stockpiles of weapons and their components in the military conflict zone to establish military parity of forces, is developed and solved. The research relevance is related to a comprehensive solution to the problem of forming the necessary stockpiles of weapons and their components in the combat zone, under the conditions of military threats. The purpose of this study is to use the component method to represent weapons and their components in the process of complex supply of military equipment to the combat zone for creating military parity of forces. The problems of the supply of weapons and their components in martial law conditions, which are associated with the complex multi-component structure of military equipment, the limited capabilities of manufacturers and suppliers of weapons, and the logistical risks of supply in conditions of military threats, are analyzed. A multi-layered component structure of military equipment is proposed for the systematic presentation of weapons and their components in the process of supply and formation of reserves in the combat zone. The logistics of the weapons and their component supply from army warehouses and military equipment from manufacturers' warehouses are analyzed. The limited capabilities of manufacturers and suppliers of military equipment lead to the complication of the formation of necessary military stockpiles in the military conflict zone, which can affect the nature of hostilities (transition from offensive to defensive actions). The lack of military equipment leads to the need to form defense orders for the creation and production of new types of weapons, including those with increased combat capability characteristics (range, accuracy, damage zone, etc.). Therefore, for the creation of new weapons or the modernization of existing models, it is proposed to use the multi-component architecture of a modern model of military equipment, considering the possible types of components (reusable, adaptive, new). An algorithm for the formation of a multi-component and multi-layered architecture of modern weapons using a precedent approach is proposed. For this, a precedent database is created, which is used to search for existing reusable components. Both quantitative and qualitative assessments of proximity are used in the process of searching in the database of precedents to assess the proximity of components. The model was created to optimize the logistic costs of supplying weapons and their components to the combat zone. The quantities of weapons and their components, the time of supply, and the risks of supply in conditions of military threats are used as supply indicators. The requirements for the supply of military equipment in the conditions of the risks of martial law are

formed. The scientific novelty of the study is related to the component method use, which is used to form the logistics of the supply of weapons and their components to the military conflict zone, considering the limited capabilities of manufacturers and suppliers of military equipment in conditions of threats of martial law. The results of the study should be used to model the plans and logistics of supplying weapons and their components to the combat zone to create military parity of forces.

Keywords: component architecture of military equipment; component types; stockpiles of weapons; logistics of military equipment supply; database of precedents; optimization of logistic costs.

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.

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

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

Замірець Ярослав Олегович – мол. наук. співроб., Державне підприємство "Науково-дослідний технологічний інститут приладобудування", Харків, Україна.

Пісклова Тетяна Сергіївна – мол. наук. співроб. 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.fedorovich@khai.edu, ORCID: 0000-0001-7883-1144.

Liudmyla Lutai – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Doctoral Student of the Department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: l.lutay@khai.edu, ORCID: 0000-0003-1822-8938.

Yuliia Malieieva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: i.bilokin@khai.edu, ORCID: 0000-0003-3553-9156, Scopus Author ID: 57249873700.

Iaroslav Zamirets – Junior research fellow, State Enterprise Scientific Research Technological Institute of Instrument Engineering (SE SRTIIE), Kharkiv, Ukraine, e-mail: y.zamirets@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3522-6937.

Tetiana Pisklova – Junior research fellow of the Department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: kafius@ukr.net.