

**DOI 10.33099/2786-7714-2026-1-10-131-139**

**УДК 355.41 (477)**

**Смиченко Євген Олександрович**  
<https://orcid.org/0000-0001-9446-2422>

**Національний університет оборони України, Київ, Україна**

*Рукопис надійшов до редакції: 04.03.2026; Рукопис прийнято до друку після рецензування: 18.03.2026; Дата публікації: 17.06.2026*

## **МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ РЕМОНТНОГО ФОНДУ ЗАСОБІВ НАЗЕМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ АВІАЦІЇ СИЛ ОБОРОНИ ДО РЕМОНТНИХ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН**

*Забезпечення технічної готовності засобів наземного забезпечення польотів в умовах високоінтенсивних бойових дій вимагає впровадження нових підходів до управління обмеженими ресурсами, а також їх розподілу.*

*У статті представлено методику оптимального розподілу ремонтного фонду засобів наземного забезпечення польотів авіації сил оборони до ремонтних військових частин, в основі якої лежить розв'язання транспортної задачі за допомогою методу потенціалів. Методика дозволяє мінімізувати логістичні та часові витрати при переміщенні несправних засобів наземного забезпечення польотів до ремонтних військових частин. Методика ґрунтується на математичній моделі функціонування системи відновлення засобів наземного забезпечення польотів авіації сил оборони в операціях, яка на відміну від існуючих інтегрує показники фактичного технічного стану засобів наземного забезпечення польотів, ступінь пріоритетності їх відновлення та часові параметри логістичних маршрутів переміщення ремонтного фонду. Застосування методики забезпечує скорочення циклу прийняття управлінських рішень під час планування логістичного забезпечення в ході виконання бойових завдань військовими частинами авіації сил оборони.*

*Практична апробація отриманих результатів підтверджує ефективність оптимізації розподілу ремонтного фонду, що виражається у скороченні термінів простою техніки та мінімізації витрат на її переміщення. Результати дослідження можуть бути імplementовані в роботу органів військового управління, а також стати підґрунтям для створення автоматизованих систем підтримки прийняття рішень у сфері логістичного забезпечення авіації сил оборони.*

**Ключові слова:** математичне моделювання; відновлення; модель; ефективність; засоби наземного забезпечення польотів; технічне забезпечення; озброєння та військова техніка; часові параметри; система відновлення; оцінювання ефективності; функціонування системи; технічна готовність.

### **Вступ**

Ефективність застосування авіації сил оборони в сучасних умовах збройної агресії безпосередньо залежить від технічного стану та оперативності відновлення засобів наземного забезпечення польотів (ЗНЗП). В умовах високоінтенсивного вогневого впливу та динамічної зміни оперативної обстановки інфраструктура забезпечення зазнає значних навантажень, що призводить до накопичення несправного парку техніки (ремонтного фонду). Обмеженість виробничих потужностей ремонтних частин та необхідність мінімізації часу на евакуацію та відновлення ЗНЗП ставлять перед органами військового управління складну задачу раціонального розподілу ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питання логістичного забезпечення та відновлення озброєння та військової техніки (ОВТ) розглядалися у працях багатьох вітчизняних та закордонних вчених. У статті [1] розглядається проблема оцінювання надійності складних технічних систем. Автори обґрунтовують

використання закону Вейбулла як універсального інструменту для опису розподілу часу до відмови в умовах обмеженої статистичної бази.

У працях [2, 3] детально висвітлені питання автоматизації процесів управління та математичного моделювання потоків у складних логістичних системах технічного забезпечення.

У публікаціях [4, 5] представлено математичну модель системи відновлення автомобільної і спеціальної техніки Повітряних Сил, побудовану на апараті теорії масового обслуговування та розробку математичних моделей процесу зміни технічного стану зразків будівельної техніки в рамках реалізації стратегії технічної експлуатації. Автори формалізували процеси відновлення як багаторівневу ієрархічну структуру, що функціонує в умовах високої невизначеності. Важливим висновком досліджень є визначення вихідних параметрів моделі (кількість ремонтного фонду та розподіл за видами робіт), які стають базою для подальшої оптимізації логістичних маршрутів. Проаналізований у праці [6] досвід функціонування

системи перевезення військ та матеріальних засобів у період 2020–2022 років, вказує на наявність проблемних питань в організації планування евакуації несправного озброєння та військової техніки. Це підкреслює актуальність математичного моделювання з метою підвищення ефективності управління транспортними потоками. У роботі [7] автори використовують апарат теорії масового обслуговування для моделювання процесу відновлення техніки, що дозволяє знайти баланс між мінімізацією витрат на утримання ремонтного підрозділу та максимізацією швидкості повернення озброєння до бойового складу. У статті [8] представлено комплексний науково-методичний підхід до оцінювання ефективності процесів відновлення озброєння та військової техніки специфічної номенклатури Повітряних Сил ЗС України з урахуванням сучасного досвіду бойових дій.

У статті [9] обґрунтовано застосування математичного апарату лінійного програмування для оптимізації процесів перевезення матеріально-технічних засобів у тактичній ланці з метою підвищення оперативної ефективності логістичного забезпечення в умовах високодинамічного бойового середовища. Автори пропонують математичну модель, яка дозволяє мінімізувати логістичні витрати та час доставки вантажів шляхом раціонального розподілу транспортних ресурсів, що безпосередньо корелюється з потребою автоматизації прийняття рішень у сучасних системах військового управління. У сучасних дослідженнях закордонних авторів, зокрема у [10], проаналізовано вплив концепції розосередженого базування та технічного обслуговування (Agile Combat Employment) на боєздатність авіаційних підрозділів. Автори пропонують методику оцінювання зниження темпів вильотів при розподілі ремонтних ресурсів між декількома оперативними локаціями та обґрунтовують необхідність гнучкого маневрування логістичними активами.

У дослідженні [11] представлено методику визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування зразків аеродромної будівельної техніки, що експлуатуються понад встановлений ресурс. Автори обґрунтували використання дифузійного монотонного закону розподілу як найбільш адекватного для опису процесів зносу механічних вузлів техніки в умовах інтенсивного використання.

Авторами статті [12] було розроблено методику оцінювання ефективності функціонування системи відновлення автомобільної і спеціальної техніки військового призначення. У зазначеній праці застосовано математичне моделювання на основі напівмарковських випадкових процесів та дифузійного немонотонного закону розподілу відмов, що дозволяє кількісно визначити показник надійності – коефіцієнт технічного використання.

В роботі [13] проведено дослідження особливостей експлуатації та відновлення

технічної готовності специфічної номенклатури засобів наземного забезпечення польотів авіації Повітряних Сил ЗСУ.

У науковій праці [14] розроблено математичну модель функціонування системи відновлення автомобільної і спеціальної техніки військових частин повітряного командування. Дослідження ґрунтується на застосуванні апарату теорії масового обслуговування, що дозволяє врахувати стохастичний характер процесів відновлення в умовах високої невизначеності та впливу дестабілізуючих факторів.

Аналіз методики проектування ремонтно-відновлюваних органів, представленої в роботі [15], засвідчив необхідність врахування логістичної складової – відстаней між джерелами ремонтного фонду та базами відновлення, а також динамічного завантаження останніх. У роботі [16] запропоновано удосконалену методику оцінки ефективності функціонування системи відновлення автомобільної і спеціальної техніки військового призначення. Зазначена методика не повною мірою враховує специфіку просторового розподілу ремонтного фонду ЗНЗП в умовах розосередження авіаційних підрозділів, що підтверджує актуальність розробки методики, яка базується на розв'язанні транспортної задачі методом потенціалів для мінімізації логістичного плеча.

Отже, незважаючи на вагомий внесок вітчизняних та закордонних вчених у питання логістичного забезпечення та відновлення ОБТ, існуючі методики орієнтовані переважно на загальну номенклатуру ОБТ або логістику сухопутного компонента. Специфіка ЗНЗП, як критично важливого складника аеродромно-технічного забезпечення авіації, потребує особливих підходів до мінімізації логістичних витрат.

На сьогодні існує суперечність між необхідністю негайного відновлення технічної готовності ЗНЗП та відсутністю адаптованих математичних інструментів оперативного розподілу ремонтного фонду. Необхідність одночасного врахування просторового розміщення аеродромів, виробничих спроможностей ремонтних частин та ризиків вогневого впливу на транспортні шляхи обумовлює потребу в розробці методики на основі методу потенціалів, що і визначило мету даної статті – розроблення методики оптимального розподілу ремонтного фонду засобів наземного забезпечення польотів авіації сил оборони до ремонтних військових частин (далі – методика).

### **Матеріали та методи**

Для реалізації поставленої у статті мети було застосовано задачу лінійного програмування [17], зокрема розв'язання транспортної задачі за критерієм мінімізації часу методом потенціалів. Метод формалізації дозволив представити систему відновлення ЗНЗП у вигляді транспортної моделі лінійного програмування, де за допомогою використання методу потенціалів здійснювався пошук оптимального плану розподілу ремонтного

фонду за критерієм мінімізації часових витрат. Метод порівняння використано для зіставлення спроможностей різних ремонтних підрозділів та наочного відображення отриманих результатів оптимізації транспортних потоків.

### Результати

Методи оптимізації із застосуванням задач лінійного програмування дозволяють враховувати технічний стан, пріоритетність, фінансові

обмеження та логістичні фактори в єдиній моделі, що забезпечує обґрунтоване, ефективне та гнучке управління ремонтним фондом.

Однією із задач лінійного програмування є транспортна задача, яка розглядається як задача оптимального розподілу ремонтного фонду ЗНЗП (далі – Задача). Задача є основою для представленої методики, блок-схема розроблення якої наведена на рис. 1.

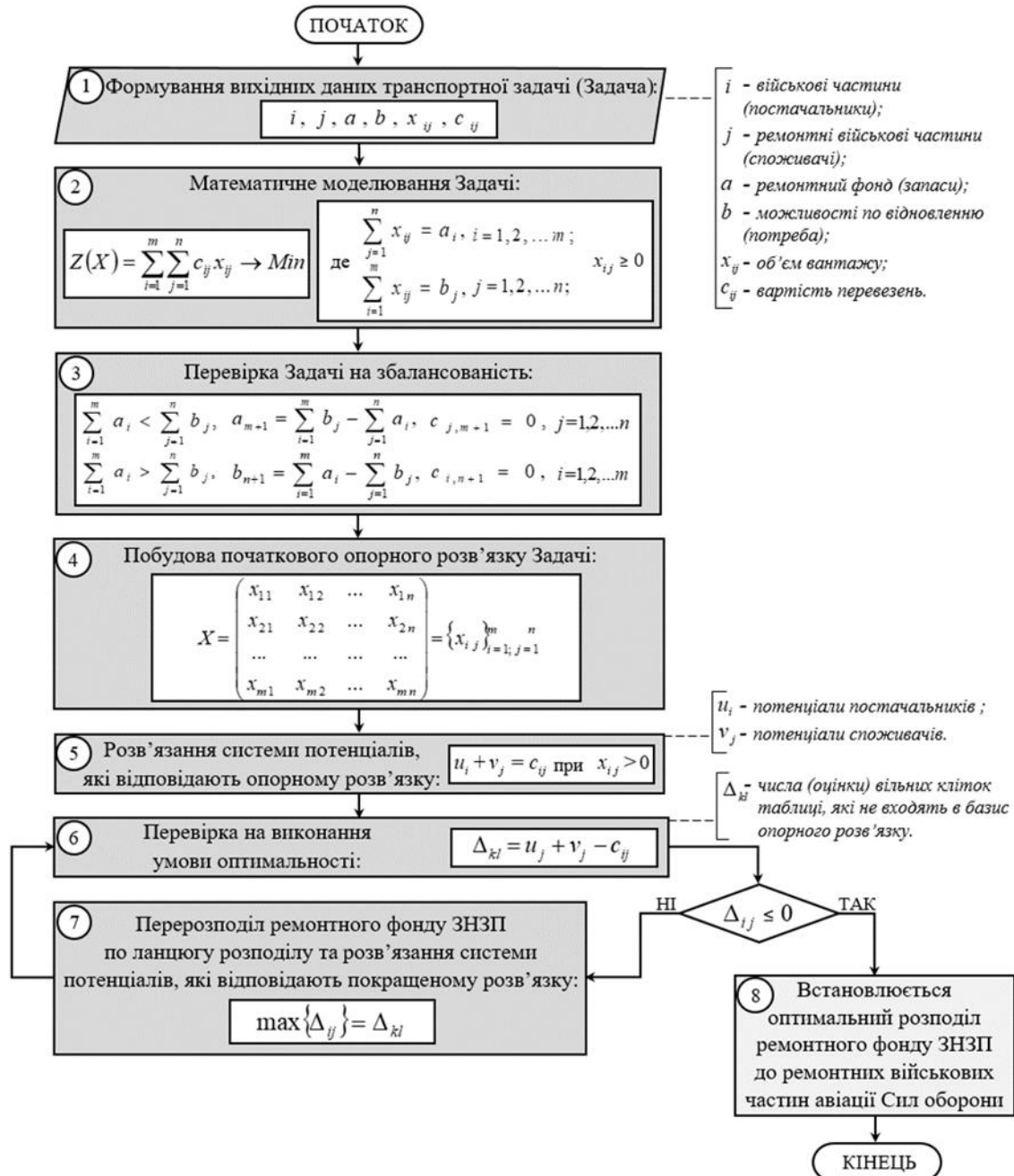


Рисунок 1 – Блок-схема методики оптимального розподілу ремонтного фонду ЗНЗП авіації сил оборони до ремонтних військових частин

#### Етапи методики.

1. Формування вихідних даних транспортної задачі.

На цьому етапі формуються вихідні дані, що складаються з наступних елементів:

$i$  – військові частини угруповання авіації Повітряних Сил (далі – постачальники) з наявним

ремонтним фондом несправних ЗНЗП  $a_1, a_2, \dots, a_m$  (далі – запаси);

$j$  – ремонтні військові частини (далі – споживачі) з можливостями щодо відновлення несправних ЗНЗП  $b_1, b_2, \dots, b_n$  (далі – потреба);

$x_{ij}$  – об'єм вантажу (кількість техніки), що перевозиться від постачальників  $i$  до споживачів  $j$ ;

$c_{ij}$  – вартість перевезення одиниці несправних ЗНЗП від постачальників  $i$  до споживачів  $j$ ;

$u_i$  – потенціали постачальників;

$v_j$  – потенціали споживачів;

$\Delta_{kl}$  – числа (оцінки) вільних кліток таблиці, які не входять в базис опорного розв’язку.

Потрібно скласти такий розподіл ремонтного фонду, щоб потреби всіх споживачів були задоволені і сумарні витрати на перевезення були мінімальні.

2. Математичне моделювання Задачі.

На цьому етапі формується умова Задачі у табличному вигляді:

	$b_1$	$b_2$	...	$b_n$
$a_1$	$c_{11}$	$c_{12}$	...	$c_{1n}$
$a_2$	$c_{21}$	$c_{22}$	...	$c_{2n}$
...	...	...	...	...
$a_m$	$c_{m1}$	$c_{m2}$	...	$c_{mn}$

Умова Задачі сформована, якщо задано:

вектор запасів  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\} = \{a_i\}_{i=1}^m$ ;

вектор потреб  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\} = \{b_j\}_{j=1}^n$ ;

матрицю вартості перевезень  $C = \{c_{ij}\}_{i=1, j=1}^{m, n}$ .

Якщо  $x_{ij}$  – об’єм вантажу (кількість ремонтного фонду ЗНЗП), що перевозиться від постачальника  $i$  до споживача  $j$ , то вартість такого перевезення дорівнює  $c_{ij}x_{ij}$ . Загальна вартість перевезення всіх вантажів становитиме

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}x_{ij}$$

Слід зауважити що вартість перевезень може бути визначена як у грошових одиницях, враховуючи вартість усіх логістичних процесів на перевезення, так і в часових показниках. Якщо необхідно зменшити до мінімуму загальну вартість перевезень ( $Z$ ), цільова функція Задачі буде мати такий вигляд:

$$Z(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}x_{ij} \rightarrow \min.$$

Система обмежень містить дві групи рівнянь.

Перша група із  $m$  рівнянь вказує на те, що запаси всіх  $m$  постачальників вивозяться повністю, тобто

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i = 1, 2, \dots, m.$$

Друга група обмежень із  $n$  рівнянь вказує на те, що потреби всіх  $n$  споживачів повністю задовольняються, тобто

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, j = 1, 2, \dots, n.$$

Враховуючи, що  $x_{ij} \geq 0$ , математична модель Задачі матиме наступний вигляд:

$$\begin{aligned} Z(X) &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}x_{ij} \rightarrow \min; \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} &= a_i, i = 1, 2, \dots, m; \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &= b_j, j = 1, 2, \dots, n; \\ x_{ij} &\geq 0. \end{aligned} \quad (1)$$

В розглянутій моделі Задачі вважається, що загальні запаси постачальників дорівнюють загальним потребам споживачів, тобто виконується умова

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j.$$

Зазначена Задача називається задачею з правильним балансом, а її модель – закритою. Якщо ж рівність не виконується, то Задача називається задачею з неправильним балансом, а її модель – відкритою.

При розв’язуванні Задачі потрібно знайти план перевезень (у матричному вигляді), який задовольняє систему обмежень і відповідає мінімуму цільової функції:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} = \{x_{ij}\}_{i=1, j=1}^{m, n}, \quad (2)$$

План перевезень, який задовольняє систему обмежень, називається допустимим. План перевезень, при якому цільова функція мінімальна, називається оптимальним.

Математична модель Задачі у векторному вигляді:

$$A = \begin{pmatrix} x_{11}x_{12}\dots x_{1n}x_{21}x_{22}\dots x_{2n}\dots x_{m1}x_{m2}\dots x_{mn} \\ \left( \begin{array}{cccccccc} 1 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & \dots & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & \dots & 1 & \dots & 0 & 0 & \dots & 1 \end{array} \right) \end{pmatrix} \quad (3)$$

Матриця  $A$  складається із стовпчиків  $A_{ij}$  і кожен стовпчик побудований по наступному правилу:

стовпчик  $A_{ij}$  містить  $m+n$  компонент і тільки дві з них відмінні від нуля і дорівнюють одиниці. Перша одиниця вектора  $A_{ij}$  стоїть на місці  $i$ , друга одиниця стоїть на місці  $m+j$ .

$$A_{ij} = \left\{ \begin{array}{cccccccc} & & & i & & & & m+j \\ & & & \downarrow & & & & \downarrow \\ 0 & \dots & 1 & \dots & 0 & 0 & \dots & 1 & \dots & 0 \end{array} \right\}^T$$

Вводиться до розгляду вектор:

$$A_0 = \{\bar{a}, \bar{b}\}^T = \{a_1, a_2, \dots, a_m, b_1, b_2, \dots, b_n\}^T$$

Кожному вектору  $A_{ij}$  ставиться у відповідність змінна  $x_{ij}$ . Тоді математична модель Задачі матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned} Z(X) &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min; \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{ij} x_{ij} &= A_0, \\ x_{ij} &\geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n; \end{aligned} \quad (4)$$

### 3. Перевірка Задачі на збалансованість.

Якщо Задача має неправильний баланс і

$$\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j,$$

то потрібно ввести “фіктивного” постачальника ремонтного фонду ЗНЗП із запасом

$$a_{m+1} = \sum_{i=1}^m b_j - \sum_{j=1}^n a_i$$

і з вартістю перевезень  $c_{j,m+1} = 0, j = 1, 2, \dots, n$ .  
Якщо Задача має неправильний баланс і

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j,$$

то потрібно ввести “фіктивну” ремонтну військову частину з можливостями щодо ремонту ЗНЗП

$$b_{n+1} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j,$$

і з вартістю перевезень  $c_{i,n+1} = 0, i = 1, 2, \dots, m$ .

### 4. Побудова початкового опорного розв’язку Задачі.

На цьому етапі потрібно перевірити, що в таблиці транспортної задачі зайнято  $m+n-1$  кліток і система векторів-умов, які відповідають одержаному розв’язку, лінійно незалежна.

Необхідно задовольнити потреби споживача за рахунок найбільш вигідного постачальника і заповнити ту клітку, якій на даному кроці відповідає мінімальне значення  $c_{ij}$ . На кожному кроці виключається з розгляду один постачальник, або один споживач. Якщо запаси постачальника вичерпані, а відповідний рядок містить чергове мінімальне значення  $c_{ij}$ , то у відповідну клітку таблиці заносять базисний нуль, і тільки після цього, рядок викреслюється. Аналогічно поступають з споживачем.

Розв’язок Задачі є опорним, тобто відповідна йому система векторів-умов лінійно незалежна.

Перехід від одного опорного розв’язку до іншого можна виконати, використовуючи цикл.

Для деякої вільної клітки таблиці будується цикл, який містить в собі частину кліток опорного розв’язку. По цьому циклу перерозподіляється перевезення. Перевезення із зайнятої клітки переноситься у вільну клітку і так одержується новий опорний розв’язок.

Якщо таблиця Задачі містить опорний розв’язок, то для будь-якої вільної клітки таблиці існує єдиний цикл, який містить в собі цю клітку і частину кліток, зайнятих опорним розв’язком.

Якщо допустимий розв’язок  $X = \{x_{ij}\}_{i=1, j=1}^{m, n}$ . Задачі є оптимальний, то існують потенціали (числа) постачальників  $u_i, i = 1, 2, \dots, m$ , і потенціали (числа) споживачів  $v_j, j = 1, 2, \dots, n$ , які задовольняють умови:

$$\begin{aligned} u_i + v_j &= c_{ij}, \quad \text{при } x_{ij} > 0, \\ u_i + v_j &\leq c_{ij}, \quad \text{при } x_{ij} = 0. \end{aligned}$$

У вихідній задачі вектор-умова  $A_{ij}$  має дві відмінні від нуля одиничні компоненти з номерами  $i$  і  $m+j$ , тому кожна умова двоїстої задачі містить лише дві змінні у вигляді  $u_i + v_j$ . Умов невід’ємності в двоїстій задачі немає через те, що всі умови вихідної задачі – рівняння. Згідно з другою теоремою двоїстості, якщо при підстановці в систему обмежень двоїстої задачі її розв’язку деяке обмеження виконується як строга нерівність виду  $u_i + v_j < c_{ij}$ , то відповідна координата оптимального розв’язку  $x_{ij}$  вихідної задачі відмінна від нуля, тобто  $x_{ij} > 0$ .

Група рівнянь  $u_i + v_j = c_{ij}$  при  $x_{ij} = 0$  використовується як система рівнянь для знаходження потенціалів. Система має  $m+n$  невідомих  $u_i, i = 1, 2, \dots, m$  і  $v_j, j = 1, 2, \dots, n$ . Кількість рівнянь в системі дорівнює  $m+n-1$ , тобто дорівнює кількості відмінних від нуля координат не виродженого опорного розв’язку. Через те, що кількість невідомих на одиницю більша від кількості рівнянь, одному з невідомих надається довільне значення, а решта визначається з системи.

### 5. Розв’язання системи потенціалів, які відповідають опорному розв’язку.

На цьому етапі потрібно побудувати і розв’язати систему рівнянь  $u_i + v_j = c_{ij}$ , при  $x_{ij} > 0$ . Для того щоб знайти частинний розв’язок системи, одному із потенціалів (найвигідніше тому потенціалу  $u_i$ , або  $v_j$ , якому відповідає більша кількість зайнятих клітин) надають деяке значення (нуль) і обчислюють решту потенціалів по формулах  $u_i = c_{ij} - v_j$ , якщо відомо  $v_j$ , або  $v_j = c_{ij} - u_i$ , якщо відомо  $u_i$ .

### 6. Перевірка на виконання умови оптимальності.

Для перевірки оптимальності опорного розв’язку використовується група нерівностей  $u_i + v_j = c_{ij}, x_{ij} > 0$ . Ці нерівності зручніше записувати у вигляді:

$$\Delta_{kl} = u_i + v_j - c_{ij} \quad \text{при } x_{ij} = 0,$$

де  $\Delta_{kl}$  – числа (оцінки) вільних кліток таблиці, які не входять в базис опорного розв'язку.

Потрібно обчислити результат для всіх вільних кліток по формулі  $\Delta_{kl} = u_i + v_j - c_{ij}$  і ті результати, які більші нуля, записати у лівій нижній кут клітки.

Якщо для всіх вільних кліток результати  $\Delta_{kl} \leq 0$ , то це означає, що отримано оптимальний розв'язок. Після цього потрібно обчислити значення цільової функції. Це свідчить про отримання оптимального плану розподілу ремонтного фонду ЗНЗП до ремонтних військових частин.

Якщо ж є хоч одна клітка з додатнім результатом, необхідно переходити до наступного етапу методики.

7. *Перерозподіл ремонтного фонду ЗНЗП по ланцюгу розподілу та розв'язання системи потенціалів, які відповідають покращеному розв'язку.*

Для покращення опорного розв'язку використовуються оцінки для вільних кліток транспортної таблиці. При цьому знаходять клітку  $(k,l)$ , якій відповідає  $\max\{\Delta_{ij}\} = \Delta_{kl}$ . Якщо  $\Delta_{kl} \leq 0$ , то розв'язок оптимальний. Якщо ж  $\Delta_{kl} > 0$ , то для відповідної клітки  $(k,l)$ , будують цикл і намагаються покращити розв'язок, перерозподіляючи вантаж  $\theta = \min\{x_{ij}\}$  по циклу. При цьому фіксується клітка таблиці з найбільшим додатнім результатом  $\max\{\Delta_{ij}\} = \Delta_{kl}$  та будується цикл розподілу, який містить в собі зафіксовану клітку і частину кліток, зайнятих покращеним розв'язком. Клітка з найбільшою додатною оцінкою позначається знаком "+", наступна позначається знаком "-" і т. д. Виконується перерозподіл вантажу по побудованому циклу на величину  $\theta = \min\{x_{ij}\}$ . Клітка зі знаком "-", якій відповідає  $\min\{x_{ij}\}$ , стає порожньою. Якщо мінімум досягається в кількох клітках, то одна з них залишається порожньою, а в решту ставляться базисні нулі, щоб кількість зайнятих кліток дорівнювала  $m+n-1$ .

Після цього необхідно повернутися до шостого етапу методики та перевірити виконання умов оптимальності. Якщо умови  $\Delta_{ij} \leq 0$  виконуються – встановити оптимальний розподіл ремонтного фонду ЗНЗП авіації сил оборони до ремонтних військових частин.

### Обговорення

В ході швидкозмінної оперативної обстановки, в умовах обмежених часових показників, для забезпечення виконання завдань військовими частинами угруповання авіації визначають терміни, у яких ЗНЗП мають бути відновлені для виконання завдань. Тому дуже важливо в найкоротші терміни прийняти правильне, а головне оптимальне за часом рішення, щодо розподілу несправних ЗНЗП до ремонтних військових частин. Це в свою чергу впливає на загальний час, який відведений на виявлення несправних зразків ЗНЗП, їх евакуацію, транспортування до ремонтних військових частин, ремонту та повернення до військових частин.

Існуючі підходи демонструють поступовий перехід від жорстко регламентованих схем до гнучких, адаптивних моделей. Найбільш ефективними в сучасних умовах є системні та математично обґрунтовані методики, що дозволяють оптимізувати використання обмежених ресурсів. Впровадження методів лінійного програмування є логічним кроком до підвищення ефективності функціонування системи відновлення. Для оптимального розподілу ремонтного фонду ЗНЗП авіації сил оборони до ремонтних військових частин застосовується умова транспортної задачі розподілу ремонтного фонду ЗНЗП, яка адаптується під наявні потреби. Транспортна задача є задачею лінійного програмування і її можна розв'язувати алгоритмом симплекс-методу. Через те, що ця задача має ряд особливостей (обмеження задано у вигляді рівнянь; кожне невідоме входить лише в два рівняння; коефіцієнти при невідомих – одиниці), для її розв'язування були створені спеціальні алгоритми.

В роботі запропоновано методику оптимального розподілу ремонтного фонду ЗНЗП авіації сил оборони до ремонтних військових частин. Результати практичної апробації розробленої методики [18] підтвердили ефективність запропонованих підходів щодо оптимізації розподілу ремонтного фонду ЗНЗП, що виражається у скороченні термінів простою техніки та мінімізації витрат на її переміщення (рис. 2).

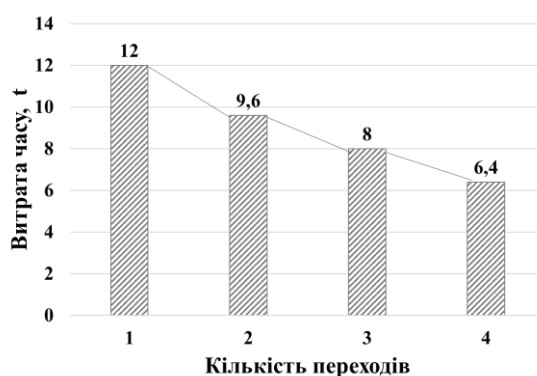


Рисунок 2 – Результати оптимального розподілу ремонтного фонду ЗНЗП до ремонтних військових частин авіації сил оборони

Результати дослідження можуть бути імплементовані в роботу органів військового управління, а також стати підґрунтям для створення автоматизованих систем підтримки прийняття рішень у сфері логістичного забезпечення авіації сил оборони.

### Висновки

Таким чином, у статті запропонована методика оптимального розподілу ремонтного фонду ЗНЗП авіації сил оборони до ремонтних військових частин, яку доцільно застосувати для забезпечення раціонального завантаження ремонтних каналів та скорочення термінів повернення техніки до строю. Використання методики дасть змогу приймати обґрунтовані управлінські рішення під час

планування логістичного забезпечення та сприятиме скороченню витрат як по часу так і по вартості.

### Список використаних джерел

- [1.] V. Dyptan, P. Yablonsky, O. Avramenko, V. Klymchuk, P. Openko, and V. Polishchuk, "Reliability assessment of highly reliable samples using the tolerance limits and the Weibull's law," in *Advances in Computer Science for Engineering and Education*. Springer, 2022, pp. 53–64. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-60196-5\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-031-60196-5_23).
- [2.] В. О. Дачковський та Л. М. Родченко, "Методика оцінювання відновлюваності озброєння та військової техніки," *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*, № 3(36), с. 89–96, 2019. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2019-36-3-89-96>.
- [3.] О. М. Сампір, "Удосконалена методика оцінювання системи відновлення озброєння та військової техніки окремої механізованої бригади," *Journal of Scientific Papers "Social Development and Security"*, т. 11, № 5, с. 165–178, 2021. <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.5.16>.
- [4.] В. В. Поліщук, А. Г. Салій, Ю. П. Целішев, В. І. Іванов та Ю. М. Косков, "Обґрунтування математичної моделі функціонування системи відновлення автомобільної і спеціальної техніки Повітряних Сил в умовах швидкої зміни обстановки," *Повітряна міць України*, с. 61–64, 2022. [https://doi.org/10.33099/2786-7714-2022-1-1\(2\)-61-64](https://doi.org/10.33099/2786-7714-2022-1-1(2)-61-64).
- [5.] P. Openko, M. Pidhorodetskyi, A. Saliı, and O. Saliı, "Development of mathematical models of process of change of the technical condition of samples of building technique is during realization of strategy of technical exploitation according to condition," *Strength of Materials and Theory of Structures*, no. 110, pp. 375–392, 2023. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.375-392>.
- [6.] Є. О. Смиченко, В. В. Поліщук, М. Ю. Миронюк та ін., "Аналіз роботи органів військового управління щодо забезпечення матеріально-технічними засобами військ протягом 2020–2022 років в зоні проведення операції об'єднаних сил," *Повітряна міць України*, № 1(4), с. 58–62, 2023. <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2023-1-4-58-62>.
- [7.] О. М. Рахманний, "Підходи до моделювання системи відновлення озброєння та військової техніки під час ведення бойових дій," *Грааль науки*, № 32, с. 113–116, 2023. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.13.10.2023.020>.
- [8.] В. В. Старцев, О. П. Мусієнко, О. М. Гурін, В. В. Просяник та О. В. Коломійцев, "Методики оцінювання ефективності відновлення озброєння та військової техніки Повітряних Сил Збройних Сил України," *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*, № 2(12), с. 134–144, 2022. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.12.2022.14>.
- [9.] Є. В. Шинкар, О. О. Лаврут та Т. В. Лаврут, "Метод лінійного програмування вирішення задачі перевезення матеріально-технічних засобів у підрозділах тактичної ланки для підвищення ефективності логістичного забезпечення," *Військово-технічний збірник "Експлуатація та відновлення озброєння та військової техніки"*, № 32, с. 87–95, 2025. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.32.2025.87-95>.
- [10.] K. F. Lynch, R. Castle, J. G. Drew, et al., *Assessing Agile Combat Employment for the Pacific Air Forces: Estimating the Impacts of Distributed Maintenance Postures on Sortie Rate Potential*. Santa Monica, CA, USA: RAND Corporation, 2024. <https://doi.org/10.7249/RR4999-3>.
- [11.] O. V. Avramenko et al., "Determination of the optimal technical servicing periodicity of samples of aerodrome construction equipment," *Strength of Materials and Theory of Structures*, no. 107, pp. 265–280, 2021. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.107.265-280>.
- [12.] А. Г. Салій, В. В. Поліщук, В. П. Диптан та В. І. Іванов, "Методика оцінювання ефективності функціонування системи відновлення автомобільної і спеціальної техніки військового призначення," *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*, № 3(30), с. 162–165, 2017. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2017-30-3-162-165>.
- [13.] А. А. Звонко, І. В. Овчаренко, О. В. Ярошенко та ін., "Методичний підхід до визначення можливостей системи відновлення озброєння та військової техніки з технічної розвідки," *Journal of Scientific Papers "Social Development and Security"*, т. 11, № 5, с. 146–154, 2021. <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.5.14>.
- [14.] В. В. Поліщук, "Математична модель функціонування системи відновлення автомобільної і спеціальної техніки військового призначення," *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*, № 3(24), с. 93–97, 2015. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2015-24-3-93-96>.
- [15.] В. О. Дачковський, О. В. Ярошенко, І. В. Овчаренко та О. М. Сампір, "Методика проектування ремонтно-відновлюваних органів," *Збірник наукових праць Військової академії*, № 1(13), ч. I, с. 210–222, 2020. <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2020.13.1.210-222>.
- [16.] В. В. Поліщук, "Удосконалена методика оцінки ефективності функціонування системи відновлення автомобільної і спеціальної техніки військового призначення," *Збірник наукових праць ЦВСД НУОУ*, № 3(55), с. 109–112, 2015.
- [17.] О. К. Молодід, *Транспортна задача: навч. посіб.* Київ, Україна: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.
- [18.] Центральне управління забезпечення авіації та протиповітряної оборони Озброєння КСЛІ ЗС України, "Акт про реалізацію результатів дисертаційного дослідження," *Вих.* № 2121, 30 січ. 2026.

Yevhen Smychenko

<https://orcid.org/0000-0001-9446-2422>

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

## METHODOLOGY FOR OPTIMAL DISTRIBUTION OF THE REPAIR FUND OF GROUND EQUIPMENT OF AIRCRAFT SUPPORT OF THE DEFENCE FORCES TO MILITARY REPAIR UNITS

*Ensuring the technical readiness of ground flight support facilities in conditions of high-intensity combat operations requires the introduction of new approaches to managing limited resources and their distribution.*

*The article presents a methodology for the optimal distribution of the repair fund for ground-based aviation support equipment of the Defense Forces to military repair units, which is based on solving a transport problem using the potential method. The methodology allows minimizing logistics and time costs when moving faulty ground-based aviation support equipment to military repair units. The methodology is based on a developed mathematical model that integrates indicators of the actual technical condition of ground flight support equipment, the priority of their restoration, and the time parameters of logistics routes for moving the repair fund. The application of the methodology ensures a reasonable reduction in the cycle of management decision-making when planning logistical support during the performance of combat missions by the aviation units of the Defense Forces.*

*Practical testing of the results confirms the effectiveness of optimizing the distribution of repair funds, which is reflected in reduced equipment downtime and minimized transportation costs. The results of the study can be implemented in the work of military management bodies and serve as a basis for the creation of automated decision support systems in the field of logistics support for the Air Force.*

**Keywords:** *mathematical modeling; recovery; model; efficiency; ground flight support facilities; technical support; weapons and military equipment; time parameters; recovery system; efficiency assessment; system functioning; technical readiness.*

### References

- [1.] V. Dyptan, P. Yablonsky, O. Avramenko, V. Klymchuk, P. Openko, and V. Polishchuk, "Reliability assessment of highly reliable samples using the tolerance limits and the Weibull's law," in *Advances in Computer Science for Engineering and Education*. Springer, 2022, pp. 53–64. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-60196-5\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-031-60196-5_23).
- [2.] V. O. Dachkovskiy and L. M. Rodchenko, "Methodology for assessing the recoverability of armament and military equipment," *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, no. 3(36), pp. 89–96, 2019. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2019-36-3-89-96>. (in Ukrainian)
- [3.] O. M. Sampir, "Improved methodology for assessing the system of restoration of armament and military equipment of a separate mechanized brigade," *Journal of Scientific Papers "Social Development and Security"*, vol. 11, no. 5, pp. 165–178, 2021. <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.5.16> (in Ukrainian)
- [4.] V. V. Polishchuk, A. H. Salii, Yu. P. Tselishev, V. I. Ivanov, and Yu. M. Koskov, "Justification of the mathematical model of the functioning of the automotive and special equipment restoration system of the Air Force in conditions of rapid situation changes," *Air Power of Ukraine*, pp. 61–64, 2022. [https://doi.org/10.33099/2786-7714-2022-1-1\(2\)-61-64](https://doi.org/10.33099/2786-7714-2022-1-1(2)-61-64). (in Ukrainian)
- [5.] P. Openko, M. Pidhorodetskyi, A. Salii, and O. Salii, "Development of mathematical models of process of change of the technical condition of samples of building technique is during realization of strategy of technical exploitation according to condition," *Strength of Materials and Theory of Structures*, no. 110, pp. 375–392, 2023. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.375-392>.
- [6.] Ye. O. Smychenko, V. V. Polishchuk, M. Yu. Myroniuk, et al., "Analysis of the work of military command bodies on the provision of troops with material and technical means during 2020–2022 in the Joint Forces Operation zone," *Air Power of Ukraine*, no. 1(4), pp. 58–62, 2023. <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2023-1-4-58-62>. (in Ukrainian)
- [7.] O. M. Rakhmanyyi, "Approaches to modeling the system of restoration of armament and military equipment during combat operations," *Grail of Science*, no. 32, pp. 113–116, 2023. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.13.10.2023.020> (in Ukrainian)
- [8.] V. V. Startsev, O. P. Musiienko, O. M. Hurin, V. V. Prosiannyk, and O. V. Kolomiitsev, "Methods of evaluating the efficiency of restoration of armament and military equipment of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine," *Collection of Scientific Works of the State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification*, no. 2(12), pp. 134–144, 2022. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.12.2022.14> (in Ukrainian)
- [9.] Ye. V. Shynkar, O. O. Lavrut, and T. V. Lavrut, "Linear programming method for solving the problem of transportation of materiel in tactical units to improve the efficiency of logistics support," *Military Technical Collection "Operation and Restoration of Armament and Military Equipment"*, no. 32, pp. 87–95, 2025. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.32.2025.87-95> (in Ukrainian)
- [10.] K. F. Lynch, R. Castle, J. G. Drew, et al., *Assessing Agile Combat Employment for the Pacific Air Forces: Estimating the Impacts of Distributed Maintenance Postures on Sortie Rate Potential*. Santa Monica, CA, USA: RAND Corporation, 2024. <https://doi.org/10.7249/RR4999-3>
- [11.] O. V. Avramenko et al., "Determination of the optimal

- technical servicing periodicity of samples of aerodrome construction equipment," *Strength of Materials and Theory of Structures*, no. 107, pp. 265–280, 2021. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.107.265-280>
- [12.] A. H. Sali, V. V. Polishchuk, V. P. Dyptan, and V. I. Ivanov, "Methodology for assessing the effectiveness of the functioning of the restoration system of automotive and special military equipment," *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, no. 3(30), pp. 162–165, 2017. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2017-30-3-162-165> (in Ukrainian)
- [13.] A. A. Zvonko, I. V. Ovcharenko, O. V. Yaroshenko, et al., "Methodological approach to determining the capabilities of the armament and military equipment restoration system for technical reconnaissance," *Journal of Scientific Papers "Social Development and Security"*, vol. 11, no. 5, pp. 146–154, 2021. (in Ukrainian)
- [14.] V. V. Polishchuk, "Mathematical model of the functioning of the restoration system of automotive and special military equipment," *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, no. 3(24), pp. 93–97, 2015. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2015-24-3-93-96> (in Ukrainian)
- [15.] V. O. Dachkovskiy, O. V. Yaroshenko, I. V. Ovcharenko, and O. M. Sampir, "Methodology for designing repair and restoration bodies," *Collection of Scientific Works of the Military Academy*, no. 1(13), pt. 1, pp. 210–222, 2020. <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.5.14> (in Ukrainian)
- [16.] V. V. Polishchuk, "Improved methodology for evaluating the effectiveness of the functioning of the restoration system of automotive and special military equipment," *Collection of Scientific Works of the Center for Military Strategic Studies of the NDUU*, no. 3(55), pp. 109–112, 2015. (in Ukrainian)
- [17.] O. K. Molodid, *Transportation Problem: Study Guide*. Kyiv, Ukraine: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2018. (in Ukrainian)
- [18.] Central Directorate for Provision of Aviation and Air Defense of the Armament of Logistics Forces Command of the Armed Forces of Ukraine, "Act on the implementation of the results of the dissertation research," Ref. No. 2121, Jan. 30, 2026. (in Ukrainian)