УДК 519.816

О. О. Морозов

МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ МІЖ ВІЙСЬКОВИМИ ФОРМУВАННЯМИ УГРУПОВАННЯ ВІЙСЬК

Пропонується методика вирішення задачі розподілу озброєння і військової техніки між військовими формуваннями угруповання військ. Методика забезпечує оптимальний з погляду на вибраний критерій ефективності розподіл техніки з урахуванням коливання потреб у ній, поточного некомплекту та потреб споживачів у певних видах техніки.

К л ю ч о в і с л о в а: озброєння і військова техніка, розподіл техніки, угруповання військ, військове формування.

Постановка проблеми. Розгортання угруповання військ для ведення операцій (бойових дій) вимагає виконання комплексу завдань, одним з яких є укомплектування з’єднань і частин (далі – військові формування (ВФ)), що входять до його складу, озброєнням і військовою технікою (ОВТ) до штатних потреб [1, 2]. Необхідність такого завдання може обумовлюватися поточним некомплектом ОВТ, розгортанням ВФ до штату воєнного часу тощо.

Виконання зазначеного завдання повинно враховувати склад сил та засобів угруповання військ та можливу динаміку їх зміни, номенклатуру та кількість ОВТ, які необхідно отримати, прийняті принципи (або пріоритетність) розподілу техніки.

При розгортанні угруповання військ, як правило, застосовується принцип пропорційного розподілу ОВТ між військовими формуваннями, що певною мірою спрощує формулювання задачі та дозволяє представити її як задачу оптимального розподілу ресурсів [3]. За таких умов для вирішення задачі розподілу ОВТ необхідно визначити показник та критерій ефективності розподілу техніки, формалізувати задачу та визначитися з методом її вирішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз існуючих підходів до вирішення задач такого виду [4, 5] показує, що вони дозволяють вирішувати завдання розподілу за умов практично незмінного попиту на техніку та забезпечення потреб у ній у заданих обсягах та номенклатурі. Фактично розглядається забезпечення нормативних потреб ВФ у техніці, а на практиці має місце необхідність обґрунтованого розподілу обмеженої кількості та номенклатури ОВТ. Якщо розглядати задачу розподілу значної кількості та номенклатури ОВТ між ВФ угруповання військ, то вона набуває великої розмірності, що значно утруднює її вирішення.

Метою статті є розроблення методики синтезу оптимального розподілу ОВТ між ВФ угруповання військ, яка б дозволяла вирішувати задачі великої розмірності.

Виклад основного матеріалу. Сформулюємо задачу таким чином. Є множина ВФ, що входять до складу угруповання військ, – споживачі ОВТ:

$$W^o = \left\| w^o_{fk} \right\|,\ f \in F = \{1,\ 2,\ \ldots,\ m\},\ k \in K = \{1,\ 2,\ \ldots,\ n\}.$$

Вважатимемо, що ВФ складається з основних структурних підрозділів (ОСП): батальйонів, рот та дивізіонів. Будемо також вирізняти взводи та батареї. За таких умов елемент матриці $w^{\text{о}}_{fk}$ характеризуватиме кількість підрозділів у k-му ОСП f-го ВФ.

Розгортання угруповання військ може здійснюватися як шляхом створення (введення) до його складу нових ВФ, так і шляхом створення нових ОСП та підрозділів у складі вже існуючих ВФ (наприклад, розгортання до штатів воєнного часу). Тобто може мати місце зростання кількості споживачів техніки до рівня $W^{\text{н}} = \left\| w^{\text{н}}_{fk} \right\|$, $k \in K = \{1, 2, \ldots, n\}$, $f \in F = \{1, 2, \ldots, m\}$, де елемент матриці $w^{\text{н}}_{fk}$ характеризує кількість підрозділів, яку планується мати у k-му ОСП f-го ВФ.

У формалізованому вигляді задачу можна представити так:

$$\sum_{(f,\,k)\in\Omega_1} \Delta r_{fkj} \cdot w_{fk}^{o} + \sum_{(f,\,k)\in\Omega_1} n_{fkj} \cdot (w_{fk} - w_{fk}^{o}) + \sum_{(f,\,k)\in\Omega_2} \Delta r_{fkj} \cdot w_{fk} - \sum_{(f,\,k)\in\Omega_2} (w_{fk}^{o} - w_{fk}) \times$$
$$\times (n_{fkj} - \Delta r_{fkj}) = R_j; \;\; f \in F,\; k \in K,\, j \in J,\; w_{fk} \ge 0, \tag{1}$$

де Δr_{fkj} – нестача j-го виду техніки у k-му ОСП f-го ВФ; n_{fkj} – штатна потреба одного підрозділу k-го ОСП f-го ВФ у техніці j-го виду; R_j – кількість техніки j-го виду, яка підлягає розподілу, $j \in J = \{1, 2, ..., \ell\}$; w_{fk} – змінна, яка відповідає реальній кількості підрозділів у k-му ОСП f-го ВФ, що забезпечені технікою згідно штату; $\Omega_1 = \left\{(f,\, k) \in K \times F {:} w_{fk}^{\text{o}} \le w_{fk}^{\text{н}}\right\}$, $\Omega_2 = \left\{(f,\, k) \in K \times F {:} w_{fk}^{\text{o}} > w_{fk}^{\text{н}}\right\}$ – індексні множини ОСП.

Шукана задача полягає в укомплектуванні ОСП технікою, тобто у визначенні елементів матриці $W = \left\| w_{fk} \right\|$, які задовольнять обмеження (1) та будуть найбільше відповідати системі цільових установок, що представлені матрицею $W^{\text{н}}$.

Виходячи із принципу пропорційного розподілу техніки, забезпеченість k-го ОСП f-го ВФ можна оцінювати відношенням кількості сформованих підрозділів w_{fk} до необхідної їх кількості $w_{fk}^{\text{н}}$, тобто величиною $\gamma_{fk} = w_{fk} / w_{fk}^{\text{н}}$. Тоді критерієм забезпеченості можна вважати мінімальну (гарантовану) частку сформованих для всіх ВФ основних структурних підрозділів, яку слід максимізувати:

$$\max_{\left\| w_{fk} \right\| \in S} \; \min_{(f,k)\in K\times F} (w_{fk} / w_{fk}^{\text{н}}), \tag{2}$$

де симплекс S задається обмеженням (1).

Розмірність задачі (2) істотно впливає на можливість її рішення, тому для отримання гарантованого результату цю задачу доцільно вирішувати як послідовність задач нижчого рівня. Для цього введемо змінну $\gamma = \min\limits_{(f,k)\in K\times F} (w_{fk} / w_{fk}^{\text{н}})$ та вирішимо еквівалентну (2) задачу лінійного програмування, яка формулюється таким чином [6]:

знайти
$$\max \gamma \tag{3}$$
при
$$\sum_{(f,k)\in K\times F} n_{fkj} \cdot w_{fk} \le R_j^{o},\; j \in J;, \tag{4}$$
$$w_{fk} - \gamma \cdot w_{fk}^{\text{н}} \ge 0;\; w_{fk} \ge 0;\; k \in K; f \in F\,, \tag{5}$$
де
$$R_j^{\text{o}} = R_j + \sum_{(f,\,k)\in\Omega_1} (n_{fkj} - \Delta r_{fkj}) \cdot w_{fk}^{\text{o}} + \sum_{(f,\,k)\in\Omega_2} (n_{fkj} - \Delta r_{fkj}) \cdot w_{fk}^{\text{o}}.$$

Якщо на першому кроці у результаті її рішення $\gamma^{(1)} = \max\, \gamma \ge 1$, то це буде означати, що наявна кількість техніки достатня для того, щоб повністю сформувати необхідний склад ОСП. У противному випадку ($\gamma^{(1)} < 1$) сформувати необхідний їх склад не можливо через недостатність техніки одного чи декількох видів.

При визначенні ОСП, для яких $\gamma^{(1)} < 1$, зауважимо, що для матриці $W = \gamma^{(1)} \cdot W^{\text{н}}$ виконуються всі обмеження задачі (3–5). Причому при підстановці елементів матриці у ці обмеження деякі нерівності (4) залишаються строгими, а інші (хоча б одна) перетворяться на строгі рівняння. Останнє твердження є наслідком того, що рішення задачі (3–5) знаходиться на границі симплексу S.

Позначимо через J_1 множину індексів j-х видів техніки, відносно яких існує проблема щодо їх достатності для укомплектування ОСП, та яким відповідають обмеження (3), що перетворилися на строгі рівняння після підстановки у них $W = \gamma^{(1)} \cdot W^{\text{н}}$:

$$J_1 = \left\{ j \in J : \gamma^{(1)} \sum_{(f,k)\in K\times F} n_{fkj} \cdot w_{fk} = R_j^{o}\,, \right.$$

а через θ_1 – множину пар індексів (f, k) ОСП, для яких елементи W входять до цих нерівностей з ненульовими коефіцієнтами:

$$\theta_1 = \left\{ (f,k) \in K \times F \ \middle| n_{fkj} \neq 0, j \in J_1 \right\}.$$

Для ОСП, індекси яких належать θ_1, коефіцієнт $\gamma^{(1)}$ є показником, що характеризує максимально можливу ступінь укомплектованості, тому

$$w_{fk} = \gamma^{(1)} \cdot w^{н}_{fk}, \ (f, \ k) \in \theta_1 .$$

У загальному випадку множина θ_1 не охоплює підрозділи усіх ОСП та ВФ. Це означає, що частка укомплектованості ОСП, індекси яких не увійшли до множини θ_1, може бути більшою, ніж $\gamma^{(1)}$.

Отже, на другому кроці рішення шуканої задачі для визначення гарантованої частки укомплектованості технікою цих ОСП достатньо вирішити таку задачу.

Знайти
$$\gamma^{(2)} = \max \ \gamma \tag{6}$$

при
$$\sum_{(f,k) \notin \theta_1} n_{fkj} \cdot w_{fk} \le R^{(1)}_j, \ j \notin J_1 , \tag{7}$$

$$w_{fk} - \gamma \cdot w^{н}_{fk} \ge 0, \ w_{fk} \ge 0, \ (f, \ k) \in \theta_1, \tag{8}$$

де $R^{(1)}_j = R^{(0)}_j - \gamma^{(1)} \cdot \sum\limits_{(f,k) \in \theta_1} n_{fkj} \cdot w^{н}_{fk}$ – загальна кількість техніки j-го виду, за виключенням тієї її кількості, яку необхідно виділити для k-х ОСП f-х ВФ $\left[(f, \ k) \in \theta_1 \right]$ у обсязі $\left(\gamma^{(1)} \cdot w^{н}_{fk} \right)$.

На цьому кроці, так само як і на першому, введемо множини J_2 та θ_2:

$$J_2 = \left\{ j \in J : \gamma^{(2)} \cdot \sum_{(f,k) \notin \theta_1} n_{fkj} \cdot w^{н}_{fk} = R^{(1)}_j \right\};$$

$$\theta_2 = \left\{ (f,k) \in K \times F : n_{fkj} \neq 0, j \in J_2 \right\}$$

та зафіксуємо відповідні елементи матриці W:

$$w_{fk} = \gamma^{(2)} \cdot w^{н}_{fk}, \ (f, \ k) \in \theta_2 .$$

Для довільного r-го шагу (r =2, 3, ...) задача має такий вигляд.

Знайти
$$\gamma^{(r)} = \max \ \gamma \tag{9}$$

при
$$\sum_{(f,k) \notin \bigcup\limits_{\ell=1}^{r-1} \theta_\ell} n_{fkj} \cdot w_{fk} \le R^{(r-1)}_j, \ j \notin \bigcup_{\ell=1}^{r-1} J_\ell ; \tag{10}$$

$$w_{fk} - \gamma \cdot w^{н}_{fk} \ge 0, \ w_{fk} \ge 0, \ (f, \ k) \in \bigcup_{\ell=1}^{r-1} \theta_\ell \ , \tag{11}$$

де $R^{(r-1)}_j = R_j - \sum\limits_{\ell=1}^{r-1} \gamma^{(\ell)} \cdot \sum\limits_{(f,k) \in \theta_\ell} n_{fkj} \cdot w^{н}_{fk}$.

Множини J_r та θ_r формуються так само, як і на перших шагах:

$$J_r = \left\{ j \in J : \gamma^{(r)} \cdot \sum_{(f,k) \notin \bigcup\limits_{\ell=1}^{r-1} \theta_\ell} n_{fkj} \cdot w^{н}_{fk} = R^{(r-1)}_j \right\};$$

$$\theta_r = \left\{ (f,k) \in K \times F : n_{fkj} \neq 0, j \in J_r \right\},$$

при цьому фіксуються такі елементи матриці W:

$$w_{fk} = \gamma^{(r)} \cdot w^{н}_{fk}, \ (f, \ k) \in \theta_r .$$

Виконавши не більше, ніж m таких шагів, отримаємо склад $W = \|w_{fk}\|$ ОСП, які найбільше відповідають системі цільових установок $W' = \|w_{fk}^{н}\|$. За елементами матриці w_{fk}, що визначені, визначається оптимальний план $\|R_{fkj}\|$ розподілу техніки, для якого R_{fkj} – кількість техніки j-го виду, яка виділяється k-му ОСП f-го ВФ, розраховується за співвідношенням:

$$R_{fkj} = n_{fkj} \cdot w_{fk} - (n_{fkj} - \Delta r_{fkj}) \cdot w_{fk}^{o};$$

$$(f,\ k) \in \Omega_1,\ \cup \Omega_2 = K \times F\ .$$

Зауважимо, що для рішення задач (3–5), (6–8) та (9–11) немає необхідності застосовувати звичайні алгоритми лінійного програмування. Дійсно, для першого шагу маємо:

$$\gamma^{(1)} \cdot \sum_{(f,k)\in K\times F} n_{fkj} \cdot w_{fk}^{н} \le R_j^{o},\ j \in J = \{1, 2, \ldots, \ell\},$$

звідки

$$\gamma^{(1)} = \min_{j\in J}\left\{ R_j^{o} \left(\sum_{(f,k)\in K\times F} n_{fkj} \cdot w_{fk}^{н} \right)^{-1} \right\}.$$

Так само для r-го шагу отримуємо:

$$\gamma^{(r)} = \min_{j \in \bigcup_{\ell=1}^{r-1} J_\ell} \left\{ R_j^{r-1} \left(\sum_{(f,k)\notin \bigcup_{\ell=1}^{r-1} \theta_\ell} n_{fkj} \cdot w_{fk}^{н} \right)^{-1} \right\}.$$

Висновки

Запропонована методика дозволяє визначати оптимальні плани розподілу техніки між ВФ з урахуванням коливання попиту на неї, поточного некомплекту та потреб споживачів у певних типах техніки. Розрахунковий алгоритм дозволяє вирішувати задачі великої розмірності. Методику можуть використовувати забезпечуючі органи, що займаються постачанням техніки, при формуванні планів використання наявної техніки. Також методику можна використовувати для вирішення задач, пов'язаних з проблемою оптимального розподілу.

Список використаних джерел

1. Технічне забезпечення військ (сил) у операції бою [Текст] : підручник / В. О. Шуєнкін, І. С. Ішутін, О. І. Хазанович та ін.; за ред. М. І. Шапталенка. – К. : НАОУ, 2001. – 616 с.

2. Шуєнкін, В. О. Теоретичні основи матеріально-технічного забезпечення військ (сил) [Текст]. Ч. 1. : навч. посіб. / В. О. Шуєнкін. – К. : ЦНДІ ЗС України, 2006. – 326 с.

3. Гурин, Л. С. Задачи и методы оптимального распределения ресурсов [Текст] / Л. С. Гурин, Я. С. Дымарский, А. Д. Меркулов. – М. : Сов. радио, 1968. – 461 с.

4. Верес, Ю. О. Алгоритм розподілу обмежених ресурсів [Текст] / Ю. О. Верес // Наукові праці. – 2010. – Вип. 130. – Т. 143. – С. 57–63.

5. Задачи распределения ресурсов в управлении проектами [Текст] / П. С. Баркалов, И. В. Буркова, А. В. Глаголев, В. Н. Колпачев. – М. : ИПУ РАН, 2002. – 65 с.

6. Раскин, Л. Г. Многоиндексные задачи линейного программирования (теория, методы, приложения) [Текст] / Л. Г. Раскин, И. О. Кириченко. – М. : Радио и связь, 1982. – 242 с.

Стаття надійшла до редакції 24.11.2015 р.