

УДК 621.317

О. О. Морозов, Л. В. Морозова

## СТРУКТУРНО-ТОПОЛОГІЧНИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ ПОСТАЧАННЯ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНИМИ ЗАСОБАМИ ВІЙСЬКОВИХ ФОРМУВАНЬ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ

*Розглянуто особливості синтезу систем постачання матеріально-технічними засобами як територіально розподілених систем складів. Сформульована постановка задачі та запропонований метод її розв'язування.*

*К л ю ч о в і с л о в а: система постачання, територіально розподілена система складів, структурно-топологічний синтез.*

**Постановка проблеми.** Однією із задач, що виникають при створенні або модернізації систем матеріально-технічного забезпечення (МТЗс) рівня Національної гвардії України (НГУ), оперативно-територіальних об'єднань (ОТО) та інших тимчасових створюваних угруповань НГУ, є побудова ефективних систем постачання (СП) МТЗс. Із збільшенням масштабів таких систем їх вартісні та функціональні характеристики все більше залежать від топології (територіального розташування складів МТЗс всіх рівнів СП як основних її елементів). Це дозволяє представляти СП як територіально розподілену систему складів (ТРСС) і разом із традиційними задачами структурного синтезу розв'язувати комплекси задач їх топологічної оптимізації у процесі їх структурно-функціонально-параметричного і топологічного синтезу [1–3].

При цьому основні елементи СП військових формувань – склади, мають, як правило, ієрархічну, радіально-вузлову структуру побудови [1–3]. Складами нижчого рівня в такій системі є склади з'єднань (частин) НГУ, які створюються одночасно зі з'єднаннями (частинами). Подальше створення (удосконалення) СП МТЗс вимагає визначення необхідної кількості складів вищого рівня та їх топології.

Отже, змістом задачі структурно-топологічного синтезу СП є довизначення варіанта її побудови (при заданих механізмах функціонування, параметрах складів і каналах постачання МТЗс) кількістю складів вищого рівня, зв'язками між ними – *структурою*, і їх територіальним розміщенням – *топологією* [4, 5]. Значні витрати на створення та експлуатацію таких систем потребують вибору обґрунтованих рішень. Це спричинює необхідність визначення доцільних показників ефективності СП, математичних моделей, методів аналізу і синтезу таких систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Всебічний аналіз задач синтезу топологічних структур СП як ТРСС показав, що більшість із них належить до класу комбінаторних, а методи їх розв'язування розділяють на точні (комбінаторні) та наближені, включаючи евристичні [3, 6].

Комбінаторні методи передбачають повний або направлений перебір усіляких варіантів топологічних структур. Методи відсікання можуть бути використані тільки в тих випадках, коли цільова функція та функції обмежень лінійні. Тоді задача може розглядатися як окремий випадок задачі цілочисельного лінійного програмування, що істотно звужує область її практичного застосування [6]. До найчастіше використовуваних методів цієї групи належать також ті, у яких застосовують схеми направленої перебору. При цьому передбачається, що в ТРСС використовують однотипні склади вищого рівня та канали постачання МТЗс, а обвідна локальних екстремумів функції витрат від кількості таких територіально розподілених систем складів є однокстремальною [3]. Реалізація цього підходу може здійснюватися шляхом послідовної оптимізації варіантів топологічних структур у напрямку збільшення або зменшення кількості складів вищого рівня.

Можливість деякого розширення області застосування комбінаторних методів з'являється у разі використання підходу, заснованого на виключенні ізоморфних варіантів [7].

Серед наближених методів, що знаходять широке застосування у розв'язуванні задач великої розмірності, виділяються методи, у яких використовують випадковий пошук, випадковий пошук з локальною оптимізацією і методи, схеми яких враховують специфіку задач. До числа найбільш ефективних методів цієї групи можуть бути віднесені методи еволюційного синтезу, реалізовані за допомогою генетичних алгоритмів [8] і методи, у яких використовують схеми покоординатної оптимізації [3]. При цьому методи еволюційного синтезу добре пристосовані для розв'язування багатокритеріальних задач, але поступаються методам на основі покоординатної оптимізації за комплексним показником “точність–складність” для розв'язування задач за показником витрат.

© О. О. Морозов, Л. В. Морозова

Методи на основі покоординатної оптимізації мають відносно низьку часову складність, однак, не гарантують одержання точних рішень.

У процесі розв'язування задач структурно-топологічної оптимізації систем з регулярним розподілом елементів (складів) отримані оцінки оптимальної кількості їх елементів вищого рівня на основі аналітичної моделі Нокера і попереднього оцінювання витрат для систем з радіально-вузловими структурами [4]. При цьому територіальне розміщення таких елементів не визначається.

**Метою статті** є вибір ефективного методу синтезу оптимальної за вибраним показником ефективності топології СП як ТРСС та розроблення методики його практичного здійснення.

**Виклад основного матеріалу.** Задана множина складів МТЗс з'єднань та (або) частин  $I = \{i : i = \overline{1, n}\}$ , наприклад тих, що входять до складу НГУ, ОТО НГУ, тимчасово створюваних угруповань НГУ, для кожного з яких визначене місце дислокації, транспортна мережа, обсяги замовлень МТЗс та транспортні витрати. Будемо їх визначати як склади 1-го рівня (СПР).

Необхідно визначити оптимальну кількість  $J^{opt}$  та місце розташування складів рівня ОТО, угруповання НГУ, визначатимемо їх як склади 2-го рівня (СДР), а також підмножини складів 1-го рівня, які будуть обслуговуватися кожним складом 2-го рівня  $I_j = \{i_j\}, j = \overline{1, J^{opt}}$ .

Розглянемо дві задачі: за наявності обмежень на місця можливого розміщення СДР та без обмежень на місця їх можливого розміщення. Перший випадок матиме місце у разі, якщо СДР будуть розміщувати на базі або у безпосередній близькості від СПР. Такий вид обмежень найбільше відповідає практиці побудови систем постачання у НГУ.

Для цього випадку задачу побудови СП можна представити як задачу мінімізації зведених витрат на постачання МТЗс до складів 1-го рівня [9]:

$$C = \sum_{j=1}^J c_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J q_i r_i d_{ij} v_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $n$  – кількість СПР;  $J$  – кількість СДР;  $c_j$  – зведені витрати на  $j$ -й СДР, грн/рік;  $q_i$  – обсяг вантажного потоку МТЗс до  $i$ -го СПР, т/рік;  $r_i$  – транспортні витрати  $i$ -го СПР, грн/т·км;  $d_{ij}$  – відстань між  $i$ -им СПР та  $j$ -им СДР, км;  $v_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-й СПР обслуговується } j\text{-им СДР;} \\ 0, & \text{у протилежному випадку.} \end{cases}$

Для розв'язування задачі (1) можуть бути використані методи синтезу, наведені у працях [1, 3, 4, 6]. Відмінністю цих методів є те, що вони орієнтовані на розв'язування задач, в яких СДР можуть розміщуватися тільки на базі одного із СПР.

Для визначення кількості СДР можна скористатися методом направленої перебору MDR з використанням евристики ADD. Це пов'язано з тим, що представляючи СП як ТСС, яка має дворівневу структуру, можна стверджувати, що залежність зведених витрат на функціонування такої системи постачання від кількості СДР є однокстремальною функцією, яка спочатку спадає, а потім зростає [10].

Для розв'язування задачі з обмеженнями на місця можливого розміщення СДР можна застосувати набір методів, які розрізняються за складністю та точністю розв'язування. Це дозволить вибрати кращий із методів, залежно від розмірності задач (кількості СПР та СДР), необхідної точності розв'язування, розрахункових потужностей і обмежень на час отримання результату. Ідея методу направленої перебору MDR полягає у такому. Визначається початкове значення допустимої кількості СДР  $J'$ , необхідних для обслуговування всієї множини СПР  $I = \{i : i = \overline{1, n}\}$ . Традиційно приймається  $J'=1$ . Для заданої кількості СДР  $J'$  за мінімумом витрат на транспортування  $\min\{q_i r_i d_{ij}\}$  розв'язують задачу їх найкращого розміщення та розподілу множини СПР за СДР  $I_j = \{i_j\}, j = \overline{1, J'}$ .

Збільшуючи кількість СДР у СП  $J' := J' + 1$ , розв'язують задачу їх розміщення та розподілу множини СПР за СДР до отримання найкращого для заданих умов результату за критерієм мінімуму зведених витрат (1).

Для розв'язування задачі розміщення СДР та розподілу множини СПР за СДР можна використати методи повного перебору MCR, зрізаного перебору MTR, за координатною оптимізацією MCD.

Метод MCR передбачає вибір рішення шляхом повного перебору всіх можливих розміщень СДР, кількість яких для відомої кількості СПР  $n$  та заданої кількості СДР дорівнюватиме кількості сполучень  $C_n^J$ .

Метод MTR передбачає вибір рішення шляхом повного перебору сполучень на скороченій множині місць можливого розміщення СПР  $I^+$ . Для цього серед множини місць розташування СПР  $I = \{i: i = \overline{1, n}\}$  слід виділити підмножину  $I^-$  СПР, розташованих на границі території, що обслуговується, та які знаходяться подалі від інших СПР або від шляхів, що зв'язують СПР між собою. Таким чином, множина  $I^+$  може бути отримана з множини  $I$  шляхом виключення з неї місць  $I^-$ , розміщення в яких СДР є економічно недоцільним, тобто  $I^+ = I \setminus I^-$ .

Сутність методу MCD полягає в тому, щоб почавши з деякого довільно вибраного розміщення  $J$  СДР, покращувати рішення шляхом послідовного переміщення одного з СДР при фіксованому розміщенні  $J-1$  інших. Циклічне застосування цієї процедури для всіх СДР дозволить отримати наближення локального мінімуму витрат (1). З метою підвищення точності оцінювання можна застосувати багатократну реалізацію процедури для різних початкових розміщень СДР. Зниження часової складності методу можна досягти, обмежуючи розмір області можливого переміщення СДР.

Для визначення місцеположення СДР за умови відсутності обмежень на місця їх розташування можна використати таку двоетапну процедуру [3]. На першому етапі множини СПР розбивають на підмножини, що не перетинаються:

$$I_j, j = \overline{1, J} \quad I_j \cap I_k = \emptyset \quad \forall i \neq j, \quad \bigcup_j I_j = I. \quad (2)$$

Розбиття можна виконати одним із найбільш популярних методів кластеризації – методом “ $k$ -середніх” [11]. При цьому як міру близькості елементів кластера використовують відстань між ними.

На другому етапі для кожної підмножини СПР  $I_j$  визначають координати СДР. Таку задачу розв'язують за допомогою ітераційного методу “центра рівноваги системи транспортних витрат” [12]. Початкові координати  $j$ -го СДР визначають за формулами:

$$x_j = \frac{\sum_{i \in I_j} r_i q_i x_i}{\sum_{i \in I_j} r_i q_i}; \quad y_j = \frac{\sum_{i \in I_j} r_i q_i y_i}{\sum_{i \in I_j} r_i q_i}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

де  $I_j = \{i_j\}$ ,  $j = \overline{1, J}$  – множина СПР, яку обслуговує  $j$ -й СДР.

Потім розраховують сумарні витрати на транспортування для  $j$ -го СДР:

$$C_j = \sum_{i \in I_j} r_i q_i d_{ij}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (4)$$

Повторне розраховування координат  $j$ -го СДР здійснюється за формулами:

$$x_j = \frac{\sum_{i \in I_j} r_i q_i x_i}{\sum_{i \in I_j} r_i q_i}; \quad y_j = \frac{\sum_{i \in I_j} r_i q_i y_i}{\sum_{i \in I_j} r_i q_i}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Переобчислення координат СДР продовжується, поки значення (4) не припинить змінюватися наперед задану величину.

Алгоритм розв'язування задачі синтезу СП без обмежень на місця можливого розміщення СДР можна представити у такому вигляді.

1. Присвоїти  $J := 1$ .
2. Розрахувати зведені витрати на транспортування МТЗс в системі  $C^0$  за формулою (1).

3. Присвоїти  $J := J + 1$ .
4. Виконати розбиття множини СПР  $J$  кластерів за допомогою  $k$ -середніх.
5. Визначити місцеположення для кожного з  $J$  СДР за допомогою ітераційного методу “центра рівноваги системи транспортних витрат”.
6. Розрахувати зведені витрати на транспортування МТЗс в системі  $C^{(1)}$ .
7. Якщо  $C^0 > C^{(1)}$ , то присвоїти  $C^0 := C^{(1)}$  та перейти до п. 3.
8. Видати результат  $C^0$ ,  $J^0 = J - 1$ .
9. Кінець розрахунків.

Розв’язування задачі побудови СП, як за умов обмеження на місця розміщення СДР, так і без цих обмежень, дозволяє отримувати гілчасту топологію системи постачання, де постачальник, СДР та закріплені за ним СПР утворюють канали постачання МТЗс у ланцюзі “постачальник – СДР – група СПР” (рис.).

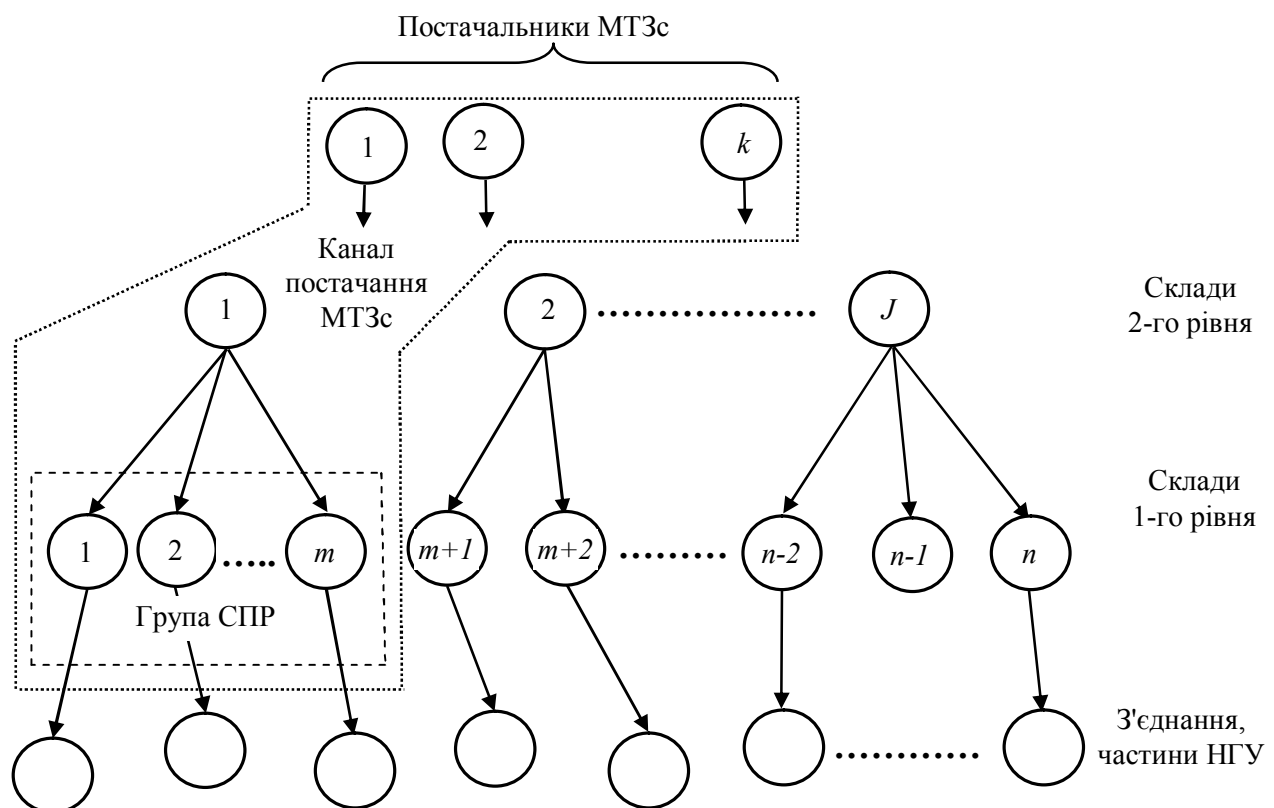


Рис. Схематичне представлення системи постачання

### Висновки

1. Обґрунтовуючи рішення щодо побудови ешелонованих систем постачання МТЗс військових формувань НГУ, їх доцільно представляти як територіально розподілені системи складів.
2. Змістом задачі синтезу ТРСС повинно бути довизначення варіанта її побудови кількістю складів вищого рівня, зв'язками між ними – *структурою*, і їх територіальним розміщенням – *топологією*.
3. Найбільш ефективними методами розв’язування задачі у такій постановці є комбінаторні методи, зокрема методи направленої перебору.

### Список використаних джерел

1. Цвиркун, А. Д. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем. Синтез и планирование развития [Текст] / А. Д. Цвиркун, В. К. Акинфиев. – М. : Наука, 1993. – 160 с.
2. Советов, Б. Я. Построение сетей интегрального обслуживания [Текст] / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – Л. : Машиностроение, 1990. – 332 с.

3. Петров, Э. Г. Территориально распределенные системы обслуживания [Текст] / Э. Г. Петров, В. П. Пискалова, В. В. Бескоровайный. – К. : Техніка, 1992. – 208 с.
4. Бескоровайный, В. В. Оценка оптимального количества подсистем при проектировании систем с регулярно распределенными элементами [Текст] / В. В. Бескоровайный // АСУ и приборы автоматики. – 2003. – Вып. 122. – С. 141–144.
5. Алгоритм оптимізації розміщення пожежних депо при проектуванні нових районів міст (реконструкції існуючих) [Текст] / В. М. Комяк, А. Г. Косе, О. К. Пандорін, О. В. Панкратов // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К. : КНУБА. – 2000. – Вип. 68. – С. 62–64.
6. Денисов, А. А. Теория больших систем управления [Текст] / А. А. Денисов, Д. Н. Колесников. – Л. : Энергоиздат, 1982. – 288 с.
7. Свирщева, Э. А. Структурный синтез неизоморфных систем с однородными компонентами [Текст] / Э. А. Свирщева. – Х. : ХТУРЭ, 1998. – 256 с.
8. Бескоровайный, В. В. Генетический алгоритм структурной оптимизации централизованных многоуровневых ИВС [Текст] / В. В. Бескоровайный, З. А. Имангулова // Новые решения в современных технологиях : вестник ХГПУ. – 2000. – Вып. 83. – С. 4–7.
9. Дыбская, В. В. Стратегические задачи логистического складирования [Текст] / В. В. Дыбская, М. Д. Годлевский, А. А. Станкевич // Логистика и управление цепями поставок. – 2005. – № 1(6). – С. 6–11.
10. Гаджинский, А. М. Логистика [Текст] / А. М. Гаджинский. – М. : Издательско-торг. корпор. “Дашков и К<sup>о</sup>”, 2005. – 432 с.
11. Мандель, И. Д. Кластерный анализ [Текст] / И. Д. Мандель. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
12. Мещанкин, А. С. Методические подходы к оптимизации проектирования логистической (складской) сети [Текст] / А. С. Мещанкин // Логистика и управление цепями поставок. – 2005. – № 1(6). – С. 24–28.

*Стаття надійшла до редакції 28.05.2014 р.*