

О. О. Морозов

Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна

## МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ ІЄРАРХІЧНОЇ СИСТЕМИ СКЛАДІВ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНО РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ СПОЖИВАЧІВ

**Метою статті** є розроблення методики розв'язання задачі формування оптимальної за вибраним показником ефективності топології СП як ІСС та алгоритму її практичної реалізації. **Результати.** Розглянуто особливості розв'язання задачі формування ієрархічної системи складів для обслуговування територіально розосереджених споживачів. Розглянуто два вихідних варіанти розміщення складів-вузлів - за наявності обмежень на місця можливого розміщення таких складів та без обмежень на місця їх можливого розміщення. Розглянуті та запропоновані найбільш ефективні методи розв'язання шуканої задачі. Запропонована методика вирішення задачі визначення ієрархічної системи складів для визначених споживачів. **Висновки.** Обґрунтовуючи рішення щодо побудови систем постачання територіально розосереджених споживачів, їх доцільно представляти як багаторівневі, територіально розподілені системи складів. Змістом задачі формування ІСС повинно бути визначення варіанта її побудови кількістю складів вищого рівня, зв'язками між ними – структурою, і їх територіальним розміщенням – топологією. Найбільш ефективними методами розв'язування задачі у такій постановці є комбінаторні методи, зокрема методи направленої перебору.

**Ключові слова:** система постачання, територіально розподілені споживачі, територіально розподілена система складів, засоби споживання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Однією із задач, що виникають при створенні або модернізації логістичних систем (ЛС) для забезпечення територіально розосереджених споживачів (ТРС), є побудова ефективних систем постачання (СП) таких споживачів необхідними засобами споживання (ЗС). Із збільшенням масштабів систем постачання їх вартісні та функціональні характеристики все більше залежать від топології їх кластерів. Як такі кластери доцільно розглядати склади всіх рівнів СП як основні її елементи. Це дозволяє представляти СП як ієрархічну систему складів (ІСС) 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 кластери СП територіально розосереджених споживачів – склади, мають, як правило, ієрархічну, радіально-вузлову структуру побудови [1–3]. Складами нижчого рівня в такій системі є склади безпосередніх споживачів (реалізаторів) ЗС. Подальше створення (удосконалення) системи постачання для будь-яких ТРС вимагає визначення необхідної кількості складів вищого рівня та їх топології.

Отже, змістом задачі формування ІСС (або задачі структурно-топологічного синтезу СП) є визначення варіанта її побудови. Тобто, при заданих кількості складів безпосередніх споживачів та їх параметрах, каналах постачання ЗС, необхідно визначити кількість складів вищого рівня, зв'язками між ними – *структуру*, і їх територіальним розміщенням – *топологію* [4, 5]. Значні витрати на створення та експлуатацію таких складів потребують вибору обґрунтованих рішень. Це спричинює необхідність визначення доцільних показників ефективності СП, математичних моделей, методів аналізу і формування таких систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз можливих підходів до розв'язання задач формування ієрархічної системи складів, 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 топології. 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, в яких застосовують схеми направленої перебору. При цьому передбачається, що в ІСС використовують однотипні склади вищого рівня та канали постачання засобів споживання, а обвідна локальних екстремумів функції витрат від кількості таких територіально розподілених систем складів є одно екстремальною [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. Мето-

ди 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 кластерів 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 кластерів не визначається.

**Метою статті** є розроблення методики розв'язання задачі формування оптимальної за вибраним показником ефективності топології СП як ІСС та алгоритму її практичної реалізації.

### Виклад основного матеріалу

Задана множина складів для забезпечення кожного із ТРС засобами споживання  $I = \{i : i = \overline{1, n}\}$ . Для кожного такого складу визначене місце розміщення, транспортна мережа, обсяги замовлень ЗС та транспортні витрати. Будемо їх визначати як склади 1-го рівня (СПР). Необхідно визначити оптимальну кількість  $J^{opt}$  та місце розташування складів-вузлів, тобто складів, які повинні забезпечувати групи СПР. 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 розміщуватися на базі або у безпосередній близькості від СПР. Такий вид обмежень найбільше відповідає практиці побудови більшості систем постачання.

Для цього випадку задачу формування ІСС можна представити як задачу мінімізації зведених витрат на постачання ЗС 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 ЗС до  $i$ -го СПР, т/рік;  $r_i$  – транспортні витрати  $i$ -го СПР, грн./т·км;  $d_{ij}$  – відстань між  $i$ -м СПР та  $j$ -м СДР, км.; булева  $v_{ij} = 1$  тільки, якщо  $i$ -й СПР обслуговується  $j$ -м СДР.

Для розв'язання задачі (1) можуть бути використані методи, 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 одно екстремальною функцією, яка спочатку спадає, а потім зростає [10].

Для розв'язання задачі із обмеженням на місця можливого розміщення СДР можна застосувати набір методів, які розрізняються за складністю та точністю розв'язування. Це дозволить вибирати кращий із методів, залежно від розмірності задач (кількості СПР та СДР), необхідної точності розв'язання, 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'язання 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  $I$  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 як:

$$RQ = \sum_{i \in I_j} r_i q_i; \quad j = \overline{1, m};$$

$$x_j = \sum_{i \in I_j} r_i q_i x_i / RQ; \quad y_j = \sum_{i \in I_j} r_i q_i y_i / RQ; \quad (3)$$

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:

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

Повторний розрахунок координат  $j$ -го СДР:

$$RD = \sum_{i \in I_j} r_i q_i / d_{ij}; \quad x_j = \sum_{i \in I_j} (r_i q_i x_i / d_{ij}) / RD;$$

$$y_j = \sum_{i \in I_j} (r_i q_i y_i / d_{ij}) / RD, \quad j = \overline{1, m}, \quad (5)$$

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

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

1. Присвоїти  $J := 1$ .
2. Розрахувати зведені витрати на транспортування ЗС 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 місцезоположення для кожного з  $J$  СДР за допомогою ітераційного методу "центра рівноваги системи транспортних витрат".
6. Розрахувати зведені витрати на транспортування ЗС 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 формування ІСС, як за умов обмеження на місця розміщення СДР, так і без них, дозволяє отримувати гілчасту топологію системи постачання, де постачальник, СДР та закріплені за ним СПР утворюють канали постачання ЗС у ланцюзі "постачальник – СДР – група СПР" (рис. 1).

### Висновки

1. Обґрунтовуючи рішення щодо побудови систем постачання територіально розосереджених споживачів, їх доцільно представляти як багаторівневі, територіально розподілені системи складів.

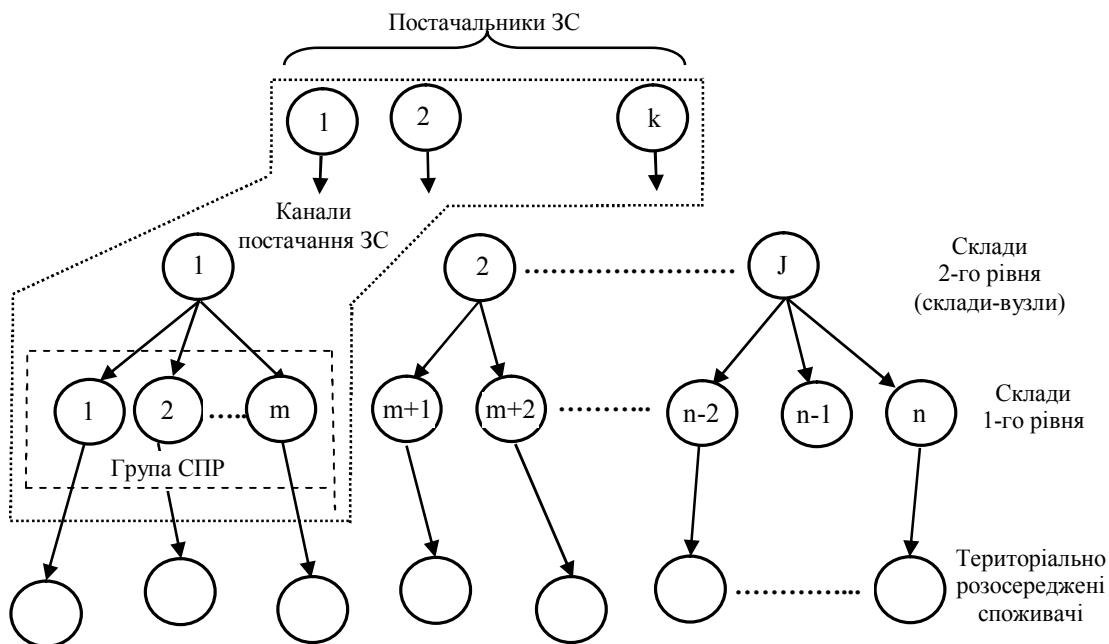


Рис. 1. Ієрархія складів системи постачання

2. Змістом задачі формування ІСС повинно бути визначення 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 можна виділити методи направленої перебору.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Цвиркун, А. Д. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем. Синтез и планирование развития / А. Д. Цвиркун, В. К. Акинфиев. – М. : Наука, 1993. – 160 с.

2. Советов, Б. Я. Построение сетей интегрального обслуживания / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – Л. : Машиностроение, 1990. – 332 с.
3. Петров, Э. Г. Территориально распределенные системы обслуживания / 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 / В. В. Бескоровайный // АСУ и приборы автоматики. – 2003. – Вып. 122. – С. 141–144.
5. Алгоритм оптимізації розміщення пожежних депо при проектуванні нових районів міст / В. М. Комяк, А. Г. Косе, О. К. Пандорін, О. В. Панкратов // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К. : КНУБА. – 2000. – Вып. 68. – С. 62–64.
6. Денисов, А. А. Теория больших систем управления / А. А. Денисов, Д. Н. Колесников. – Л. : Энергоиздат, 1982. – 288 с.
7. Свирщева, Э. А. Структурный синтез неизоморфных систем с однородными компонентами / Э. А. Свирщева. – Х. : ХТУРЭ, 1998. – 256 с.
8. Бескоровайный, В. В. Генетический алгоритм структурной оптимизации централизованных многоуровневых ИВС / В. В. Бескоровайный, З. А. Имангулова // Вестник ХГПУ. – 2000. – Вып. 83. – С. 4–7.
9. Дыбская, В. В. Стратегические задачи логистического складирования / 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 / А. М. Гаджинский. – М. : Издательско-торг. корпор. “Дашков и К<sup>о</sup>”, 2005. – 432 с.
11. Мандель, И. Д. Кластерный анализ / И. Д. Мандель. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
12. Мещанкин, А. С. Методические подходы к оптимизации проектирования логистической сети / А. С. Мещанкин // Логистика и управление цепями поставок. – 2005. – № 1(6). – С. 24–28.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М. А. Подригало,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків;  
Received (Надійшла) 14.08.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.09.2018

#### **Методика формирования иерархической системы складов для обслуживания территориально рассредоточенных потребителей**

А. А. Морозов

**Целью статьи** является разработка методики решения задачи формирования оптимальной по выбранному показателю эффективности топологии СП как ИСС и алгоритма ее практической реализации. **Результаты.** Рассмотрены особенности решения задачи формирования иерархической системы складов для обслуживания территориально рассредоточенных потребителей. Рассмотрено два исходных варианта размещения складов-узлов - при наличии ограничений на места возможного размещения таких складов и без ограничений на места их возможного размещения. Рассмотренные и предложенные наиболее эффективные методы решения искомой задачи. Предложена методика решения задачи определения иерархической системы складов для определенных потребителей. **Выводы.** Обосновывая решение по построению систем снабжения территориально рассредоточенных потребителей, их целесообразно представлять как многоуровневые, территориально распределенные системы складов. Содержанием задачи формирования ИСС должно быть определение варианта ее построения количеством складов высшего уровня, связями между ними - структурой, и их территориальным размещением - топологией. Наиболее эффективными методами решения задачи в такой постановке есть комбинаторные методы, в частности методы направленного перебора.

**Ключевые слова:** система снабжения, территориально распределенные потребители, территориально распределенная система складов, средства потребления.

#### **Methodology of forming hierarchical system storages for maintenance of the territorial dispersed consumers**

A. Morozov

**The purpose of the article** is to develop a method for solving the problem of optimal formation of the selected index of the efficiency of the topology of the joint venture as an ISS and the algorithm for its practical implementation. The variants of decision of task of forming of the hierarchical system of storages are considered for maintenance of the territorial dispersed consumers. A task appears for terms, when the amount of the territorial up-diffused storages of end-user of facilities of consumption and place (coordinates) of their placing is known. Thus the decision of initial task must be determining the optimal amount of storages-knots, each of that served the certain groups of storages of end-user. Two initial variants of placing of storages-knots are considered - at presence of limits on the places of the possible placing of such storages and without limits on the places of their possible placing. Considered and offer most effective methods of decision of the sought after task. The first variant of task of forming of the system of storages appears the task of minimization the brought expenses over on supplying with facilities of consumption on storages of end-user. Thus storages-knots take place on the base of one of storages of end-user. The sought after task is actually taken to determining the optimal amount of storages-knots. For the decision of task the possible methods of decision are analysed in such raising. The method of the directed surplus of MDR is certain the most acceptable method of decision of task. For the second variant of task a two stage procedure of decision is worked out. On the first stage the great number of storages of end-user by means of method of "к-средних" is broken up on non-overlapping subsets. On the second stage for every subset by means of method of "center of equilibrium of the system of transport expenses" the coordinates of placing of storages-knots are determined. Total transport expenses settle accounts for each of such storages. The count of coordinates of placing of storages-knots is produced until total transport expenses will not begin to change the size set in advance. For the practical decision of such task a corresponding algorithm is worked out.

**Keywords:** system of supply, territorial distributed consumers, territorial distributed system of storages, means of consumption.