УДК 681.3

Л.В. Морозова

Національна академія Національної гвардії України, Харків

ФОРМУВАННЯ ТОПОЛОГІЇ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Розглянуто задачу формування топології логістичної системи для обслуговування територіально розподілених споживачів. Вихідними даними є координати місць розташування споживачів на топологічному полі логістичної системи і множина обслуговуючих органів. У класі задач математичного програмування запропоновані постановка та алгоритми рішення задачі визначення числа обслуговуючих органів, місць їх розміщення на топологічному полі, закріплення споживачів за органами.

Ключові слова: *логістична система, топологія системи, територіально розподілені споживачі, обслуговуючі органи, точки споживання, алгоритм рішення.*

Вступ

Постановка проблеми. Системи складів, ремонтних органів (далі – обслуговуючі органи (ОбОр)), призначені для обслуговування територіально розподілених споживачів, механізми обслуговування таких споживачів, формують так звані логістичні системи (ЛС). Такі системи формується для обслуговування деякої сукупності споживачів на певній території мінімальною множиною обслуговуючих органів, що мають різні (або типові) функціональні можливості. Споживачі на території, що обслуговується, мають певні координати розташування, визначаючи тим самим топологічне поле ЛС. Місця розташування споживачів на такому полі будемо називати точками споживання.

Формування топології логістичної системи повинне передбачати розв'язання таких часткових задач:

- вибір ОбОр кожного виду, які дозволять обслужити всі точки споживання топологічного поля;
- визначення місць розміщення ОбОр на топологічному полі;
- закріплення точок споживання топологічного поля за ОбОр.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз задач формування топології систем з територіально розподіленими елементами (споживачами), зокрема, логістичних систем у різних постановках показавши, що більшість з них належить до класу комбінаторних, а методи їх вирішення розділяються на точні (комбінаторні) та наближені (включаючи евристичні) [1 – 4].

Комбінаторні методи передбачають повний або направлений перебір усіляких варіантів топології ЛС. 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 їх практичного застосування [2, 3]. До числа найбільш часто використовуваних методів цієї групи належать також методи, що використовують схеми направленого перебору. При цьому передбачається, що в ЛС використовують однотипні ОбОр, а огинаюча локальних екстремумів функції витрат від кількості територіально розподілених споживачів є одноекстремальною [5, 6]. Реалізація цього підходу може здійснюватися шляхом послідовної оптимізації варіантів топології ЛС у напрямку збільшення або зменшення кількості обслуговуючих органів [3]. Можливість деякого розширення області застосування комбінаторних методів з'являється при використанні підходу, заснованого на виключенні ізоморфних варіантів [7].

Серед наближених методів, що знаходять широке застосування при вирішенні задач великої розмірності, виділяються методи, що використають випадковий пошук, методи, що використають 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, 9] і методи, що використають схеми покоординатної оптимізації [1, 6]. При цьому методи еволюційного синтезу добре пристосовані для вирішення багатокритеріальних задач, але поступаються методам на основі покоординатної оптимізації за комплексним показником "точність-складність" при вирішенні задач за показником витрат. Методи на основі покоординатної оптимізації мають відносно низьку часову складність, однак не гарантують одержання точних рішень.

При вирішенні задач топологічної оптимізації систем з регулярним розподілом ОбОр отримані оцінки оптимальної кількості елементів вищого рівня в них на основі аналітичної моделі Нокера і попередньої оцінки витрат для систем з радіально-вузловими структурами [10]. При цьому територіальне розміщення таких органів не визначається.

Метою статті є розроблення алгоритмів рішення задачі з формування топології логістичної системи для обслуговування територіально розподілених споживачів з урахуванням їх особливостей.

© Л.В. Морозова

Виклад основного матеріалу

Для рішення сформульованих задач приймемо, що розміри топологічного поля і координати точок споживання відомі. При вирішенні першої задачі приймемо, що необхідна кількість ОбОр кожного виду повністю визначається складом точок споживання топологічного поля. Це дозволить вирішувати дану задачу незалежно від двох наступних. При цьому задачі розміщення ОбОр і закріплення за ними точок споживання взаємозалежні і повинні вирішуватися спільно.

Рішенням задачі визначення кількості ОбОр повинна бути мінімальна кількість таких органів здатних обслужити всі точки споживання. Отримана в такий спосіб кількість ОбОр приймається як вихідна величина і при пошуку рішень може лише зростати. Сукупність точок споживання топологічного поля позначимо множиною E, при цьому

$$E = \bigcup E_r,\ \bigcap E_r = \varnothing,\ |E_r| = b_r,\ r = 1,2,...,R,$$

де E_r – підмножина точок r-го типу у множині E; b_r – число точок r-го типу в множині E; R – число типів точок на топологічному полі.

Число видів ОбОр, які можуть бути використані для формування логістичної системи, позначимо величиною S. Для обслуговуючого органа s-го виду введемо вектора закріплення точок споживання

$$A_s = \{a_{rs}\},\ s = 1,2,...,S.$$

де a_{rs} – припустиме число місць закріплення точок споживання r-го типу за ОбОр s-го виду.

Здатність ОбОр обслуговувати точки споживання відповідно до векторів A_s представимо матрицею A, $A = \|a_{rs}\|_{R\times S}$.

Введемо змінну x_s, яка визначає кількість ОбОр s-го виду, використовуваних при закріпленні точок множини E. Тоді задачу визначення мінімальної кількості обслуговуючих органів, необхідних для закріплення всіх точок множини E можна записати у вигляді:

$$\sum_{s=1}^{S} x_s \to \min, \qquad (1)$$

$$\sum_{s=1}^{S} a_{rs} x_s \ge b,\ r = 1,2,...,R, \qquad (2)$$

$$x_s > 0 \text{ для всіх } s = 1,2,...,S. \qquad (3)$$

Задача (1) – (3) відноситься до класу задач цілочисельного лінійного програмування. Величини a_{rs} і b_r в обмеженнях (2) – позитивні числа, часто і цілі, для багатьох додатків – булеві. Дана задача більше відома як задача покриття [11]. У нашому випадку задачу можна представити як задачу закріплення точок споживання множини E заданої вектором $B = \{b_r\}$, векторами закріплення ОбОр $A_s = \{a_{rs}\}$. У результаті вирішення задачі (1)–(3) одержимо вектор $X^* = \{x_s^*\}$, компоненти x_s^* якого визначають мінімальну кількість ОбОр s-го виду, необхідних для обслуговування точок споживання множини E.

Вирішення задачі з визначення місць розміщення обслуговуючих органів доцільно здійснювати у два етапи. На першому множина точок споживання E розбивається на P підмножин E_p, $p = 1,2,...,P$:

$$\bigcup E_p = E,\ E_p \cap E_q = \varnothing,\ (p,q) = 1,2,...,P,$$

$$P = \sum_{s=1}^{S} x_s^*,\ |E_p| = |E|/P.$$

Другий етап включає процедури аналізу складу типів точок множини E_p та вибору для неї підходящого виду ОбОр і місця його розміщення. Розбивка множини E на підмножини E_p може бути виконана так, що між складами точок множин E_p і векторами закріплення обслуговуючих органів має місце взаємно однозначна відповідність. У цьому випадку розбивку можна розглядати як припустиме рішення задачі закріплення точок за ОбОр. Оптимальному рішенню буде відповідати такий варіант закріплення, при якому сума відстаней між точками в множинах E_p буде мінімальною. Таке закріплення будемо іменувати компактним, а підмножини E_p компактної розбивки – компактними. Введена умова компактності еквівалентна умові, у якій сума відстаней між точками в кожній множині E_p, замінена на суму відстаней від топологічного центра множини до його точок. Неважко побачити, що отримане компактне закріплення дає рішення обох задач. У центрах компактних множин E_p розміщуються відповідні ОбОр, за якими прикріплюються точки множин E_p. Аналіз наукових джерел показує, що алгоритмів одержання компактної розбивки немає [1, 5]. Тому виникає необхідність розробки наближеного алгоритму вирішення даної задачі.

Для розбивки множини E на підмножини E_p можна використати два варіанти алгоритму. Обидва варіанти є евристичними алгоритмами послідовного типу. У першому з них розбивка множини E на підмножини E_p здійснюється з урахуванням типів точок споживання. Формування чергової множини E_p здійснюється з урахуванням вектора закріплення обраного виду обслуговуючого органа. У результаті роботи алгоритму за кожною множиною E_p закріплюється ОбОр певного виду, тобто операції формування множин E_p і вибору виду обслуговуючого органа сполучаються.

Другий варіант алгоритму попередньо розбиває множину E на підмножини E_p без урахування типів точок споживання, а потім для множин E_p підбираються підходящі види ОбОр.

Формування першої множини E_{p1} за першим варіантом алгоритму починається з вибору точки $e_{p1}^{r} \in E$ максимально віддаленої від точок множини $E \setminus e_{p1}^{r}$, тобто, з максимальною сумою відстаней від e_{p1}^{r} до точок $e_t \in E \setminus e_{p1}^{r}$, $\max\limits_{e_{p1}^{r} \in E} \sum\limits_{e_t \in E \setminus e_{p1}^{r}} d\left(e_t, e_{p1}^{r}\right)$, де $d\left(e_t, e_{p1}^{r}\right)$ – відстань від точки $e_t \in E \setminus e_{p1}^{r}$ до точки e_{p1}^{r} на топологічному полі.

Місце розміщення точки e_{p1}^{r} йменується полюсом і позначається p_1. Полюс p_1 приймається як тимчасове місце розміщення обслуговуючих органів одного з видів S, для яких $x_s^* \neq 0$, а вектор закріплення A_s має компоненту $a_{rs} \neq 0$. Умова $a_{rs} \neq 0$ забезпечує можливість закріплення точки e_{p1}^{r} r-го типу за обраним ОбОр s-го виду.

Вибір виду ОбОр здійснюється на основі формування множини точок E_{p1}^{s} і її оцінки. До множини E_{p1}^{s} включаються прилеглі до полюса точки множини $E \setminus e_{p1}^{r}$, які поряд із точкою e_{p1}^{r} можуть бути закріплені за ОбОр відповідно до його вектора закріплення A_s. Число точок у множині E_{p1}^{s} або його потужність буде визначатися як $\left|E_{p1}^{s}\right| = \sum\limits_{r=1}^{R} a_{rs}$. Якість множини E_{p1}^{s} оцінюється сумою відстаней $d(q, p_1)$ від точок $q \in E_{p1}^{s}$ до полюса p_1 і дорівнює величині $L_s = \sum\limits_{q \in E_{p1}^{s}} d(q, p_1)$. Обслуговуючий орган s-го виду з множиною E_{p1}^{s}, для якого відношення $L_s \big/ \left|E_{p1}^{s}\right|$ є мінімальним, приймається в якості тимчасово розміщеного в полюсі p_1. Величина x_s^* зменшується на 1, і із множини E виключається підмножина E_{p1}^{s}.

За аналогією із множиною E_{p1}^{s} на множині $E \setminus E_{p1}^{s}$ формується множина E_{p2}^{s} і у полюсі p_2 тимчасово розміщується другий ОбОр. Процес розбивки множини E на підмножини E_p триває доти, поки для всіх обслуговуючих органів $\left\{x_s^*\right\}$ не будуть визначені полюси і сформовані множини E_p.

За другим варіантом алгоритму множини E_p формуються без урахування типів точок споживання. Потужність множин E_p приймається однаковою і визначається величиною $|E|/P$. Формування множини E_{p1} за аналогією з першим варіантом алгоритму починається з місця розташування полюса p_1. Далі за полюсом p_1 закріплюються найближчі точки так, щоб їх кількість не перевищувала потужність множини E_p. Потім на множині $E \setminus E_{p1}$ формується множина E_{p2}, і цей процес триває до повної розбивки множини E. Можна припустити, що сформовані в такий спосіб множини E_p у порівнянні із множинами E_p, отриманими за першим варіантом алгоритму, будуть топологічно більш компактними. Разом з тим множини E_p, сформовані за даним алгоритмом, за складом і типам точок можуть істотно відрізнятися від складу точок векторів закріплення ОбОр. Тому виникає необхідність у розподілі ОбОр по множинах E_p так, щоб склади точок були максимально погоджені.

Із цією метою для кожної множини E_p формується вектор $A_p = \left\{a_{rp}\right\}$, компоненти a_{rp} якого дорівнюють числу точок r-го типу у множині E_p. Обслуговуючі органи, що увійшли у рішення $X^* = \left\{x_s^*\right\}$ пронумеруємо порядковими номерами $v = 1,2,...,V$, $V = \sum\limits_{s=1}^{S} x_s^*$. Кожному v-му ОбОр s-го виду поставимо у відповідність вектор закріплення $A_v = A_s$. Вектори A_v і A_p віднормуємо відносно максимальних елементів. Отримані вектори $A'_v = \left\{a'_{rv}\right\}$ і $A'_p = \left\{a'_{rp}\right\}$, де $a'_{rv} = a_{rv} \big/ \max\limits_{r} a_{rv}$, $a'_{rp} = a_{rp} \big/ \max\limits_{r} a_{rp}$, можна зіставляти на відповідність місць закріплення точок різного типу до ОбОр і складу точок у множинах E_p. Відповідність векторів A'_v і A'_p варто оцінювати величиною d_{vp}

$$d_{vp} = \sum_{r=1}^{R} \left|a'_{rv} - a'_{rp}\right|, \qquad (4)$$

яка підсумовує модулі різниць відповідних компонентів векторів, що зіставляються. Величини d_{vp} оформимо у вигляді матриці $D = \left\|d_{vp}\right\|$, $V = P$, яку назвемо матрицею відхилень векторів. Рядки матриці відповідають ОбОр v, а стовпці – множинам E_p. Елементи d_{vp} вказують на ступінь переваги закріплення v-го ОбОр у точках множини E_p. Чим менше значення елемента d_{vp}, тим вище пріоритет.

Для встановлення найкращої відповідності між обслуговуючими органами, представленими векторами A_v, $v = 1,2,...,V$, і множинами E_p, представле-

ними векторами A_p, вирішимо задачу закріплення ОбОр за множинами так, щоб мінімізувати суму відхилень векторів

$$\sum_{v=1}^{V}\sum_{p=1}^{P} d_{vp}x_{vp} \to \min, \quad (5)$$

$$\sum_{p=1}^{P} x_{vp} = 1, \; v = 1,2,...,V, \quad (6)$$

$$\sum_{v=1}^{V} x_{vp} = 1, \; p = 1,2,...,P. \quad (7)$$

Тут $x_{vp} = 1$, якщо v-й обслуговуючий орган закріплюється за множиною E_p, і $x_{vp} = 0$, у противному випадку. Задача (5)–(7) є класичною задачею про призначення і для її вирішення є ефективні алгоритми [12].

Зіставляючи між собою обидва варіанти алгоритму розбивки множини E на підмножини E_p, важко віддати перевагу якомусь з них. Дослідження показали, що з ростом регулярності розміщення на топологічному полі точок множин E_r, більш переважним виявляється другий варіант. Навпроти, якщо точки множин E_r розміщені нерегулярно, та перевагу має перший варіант.

Місце розміщення ОбОр у множині E_p визначається або в точці топологічного поля, координати якої обчислюються як координати центра мас точок множини E_p, або в точці множини E_p, що відповідає мінімальній сумі відстаней від цієї точки до всіх інших точок множини E_p.

Множини E_p не можуть розглядатися як варіанти закріплення точок за відповідними ОбОр. Причин тут декілька. Якщо множини E_p сформовані за другим варіантом алгоритму, то невідповідність векторів A_v і A_p, яке визначається за виразом (4), може бути значною. При переміщенні обслуговуючих органів з полюсів множин E_p у їх центри також з'являється можливість для оптимізації закріплення точок за ОбОр. Слід зауважити, що обидва варіанти алгоритму є наближеними і не гарантують одержання найкращої розбивки множини E на підмножини E_p. Тому рішення задачі закріплення точок споживання за обслуговуючими органами дозволяє "згладити" недоліки попереднього етапу визначення місць розміщення ОбОр.

Множина точок споживання E, які необхідно закріпити за ОбОр, складається з підмножин E_r, що містять точки r-го типу. За кожним v-м ОбОр потрібно закріпити точки певних типів і у припустимій кількості відповідно до його вектора закріплення A_v так, щоб сума відстаней від обслуговуючих органів до закріплених за ними точками була мінімальною.

Неважко помітити, що при вирішенні даної задачі точки r-го типу не можуть претендувати на місця закріплення точок будь-якого іншого типу. Із цього випливає, що задачу закріплення точок за ОбОр можна вирішувати окремо для точок кожної підмножини E_r. Загальне рішення для множини E, отримане в результаті об'єднання оптимальних рішень задач для підмножин E_r, є оптимальним. Даний висновок має велике значення, тому що дає можливість істотно спростити задачу та скоротити її розмірність.

Будемо вважати, що для кожного v-го ОбОр, розміщеного на топологічному полі в точці e_v, відомі координати (x_v, y_v) його місця розташування. Відомі також координати (x_i, y_i) точок $e_i \in E_r$, $i = 1,2,...,n_r$, n_r – число точок у підмножині E_r. Відстань між точками e_v і e_i позначимо величиною c_{vi} та сформуємо матрицю відстаней $C = \|c_{vi}\|_{V \times n_r}$

$$c_{vi} = \left[(x_v - x_i)^2 + (y_v - y_i)^2\right]^{1/2}.$$

Введемо змінну x_{vi}: $x_{vi} = 1$, якщо точка закріплюється за ОбОр, розміщеним у точці e_v, $x_{vi} = 0$ у противному випадку.

У прийнятих позначеннях задачу закріплення точок множини E_r можна записати у вигляді:

$$\sum_{v=1}^{V}\sum_{i=1}^{n_r} c_{vi}x_{vi} \to \min, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{n_r} x_{vi} = a_{rv}, \; v = 1,2,...,V, \quad (9)$$

$$\sum_{v=1}^{V} x_{vi} = 1, \; i = 1,2,...,n_r. \quad (10)$$

Тут a_{rv} – r-та компонента вектора закріплення v-го ОбОр. Передбачається також, що виконується умова $\sum_{v=1}^{V} a_{rv} = n_r$. Виконання умови (9) забезпечує закріплення точок за обслуговуючими органами згідно їх векторів закріплення. Умова (10) вимагає закріплення кожної точки за одним із обраних ОбОр. Задача (8)–(10) відноситься до класу транспортних задач лінійного програмування (далі – ТЗЛП) і може бути вирішена одним з відомих та ефективних алгоритмів [13].

Закріплення точок споживання за ОбОр, отримане після вирішення ТЗЛП, не можна визнати оптимальним, тому що безпосередньо пов'язана з нею задача визначення місць розміщення обслуговуючих органів на топологічному полі була вирішена за допомогою наближеного алгоритму. Нагадаємо, що оптимальні місця розміщення ОбОр відповідають

центрам компактних множин. Тому що множини E_p не є компактними, то розміщення ОбОр у центрах цих множин не є оптимальним. Разом з тим вирішення ТЗЛП щодо обслуговуючих органів, розміщених у центрах множин E_p, може привести до двох результатів. У першому з них закріплення точок за ОбОр відповідає вихідній розбивці множини E на підмножини E_p. Тобто за кожним ОбОр, розміщеним у центрі множини E_p, закріплюються точки тієї ж множини.

Другий результат відповідає ситуації, коли закріплення точок за ОбОр не збігається із закріпленням множини E на підмножини E_p. Нові підмножини, позначимо їх як E'_p, очевидно відповідають більш компактному закріпленню, тому що значення цільової функції (8) у ТЗЛП для множин E'_p буде менше, ніж значення, підраховане для множин E_p. Із цього витікає, що процедуру переносу обслуговуючих органів у множинах E'_p і рішення ТЗЛП можна повторити, сподіваючись одержати більш компактне закріплення з підмножинами E''_p. Дану процедуру варто повторювати доти, поки підмножини чергового закріплення не збіжаться з підмножинами попереднього закріплення. Це буде означати, що отримано локальне компактне закріплення, якість якого залежить від вихідного закріплення обслуговуючих органів.

Щодо викладеного вище підходу до вирішення задачі розміщення ОбОр і закріплення за ними точок можна висловити деякі міркування, які дозволять скласти більш повне уявлення про те, наскільки можуть бути великі відхилення отриманого рішення від оптимального.

Нехай на топологічному полі множина M із точками одного типу розбито на компактні підмножини M_s рівної потужності із сумарною оцінкою компактності L_k. Розмістимо в множинах M_s по одному ОбОр, здатних обслужити рівно M_s точок. Вирішивши ТЗЛП, розподілимо оптимальним образом точки множини M по ОбОр. Можна припустити, що незалежно від того, у які точки множин M_s будуть розміщені обслуговуючі органи, у результаті застосування ітераційної процедури одержання локальної компактної розбивки за кожним s-м ОбОр в остаточному підсумку закріплюються точки множини M_s. Незважаючи на те, що довести це твердження не представляється можливим, є ряд доводів на користь даної гіпотези.

Очевидно, що якщо ОбОр розмістити в центральних точках множин M_s, то рішення ТЗЛП для даних умов не приведе до перерозподілу точок між множинами M_s. Розглянемо крайній випадок, коли обслуговуючі органи в множинах M_s розміщені в точках, максимально віддалених від точок відповідних множин. Нехай сума відстаней від точок до ОбОр у множинах M_s у цьому випадку дорівнює L_m. При вирішенні ТЗЛП для прийнятого розміщення обслуговуючих органів одержимо значення цільової функції L^* таке, що $L_k < L^* \le L_m$. Якщо $L^* < L_m$, то це означає, що точки множин M_s перерозподілилися і у порівнянні із множинами M_s утворили менш компактні множини M_s^*.

Процедуру переходу від компактних множин M_s до менш компактних M_s^* можна розглядати як зворотну стосовно раніше викладеної процедури переходу від множин E_p до більше компактних множин E'_p. Можна припустити, що зворотна процедура, також як і пряма, приводить до деякої стійкої розбивки. Такою розбивкою, зокрема, може бути і вихідний варіант розбивки. Застосування стосовно нього прямої процедури зовсім не обов'язково приведе до компактної розбивки. Однак, якщо при вихідній або черговій розбивці, отриманій у результаті рішення ТЗЛП, обслуговуючі об'єкти будуть розміщені в кожній з компактних множин, то досить ймовірно, що така розбивка перебуває на траєкторії спуска до компактної розбивки. Очевидно, що для підтвердження або спростування даного припущення необхідно проводити додаткові дослідження. Одержати компактну розбивку навіть для експериментальних цілей немає можливості. Тому доводиться мати справу з локальними компактними розбивками.

Попередні дослідження показали, що до однієї локальної компактної розбивки сходяться багато вихідних варіантів розбивок. При цьому навіть значний розкид в оцінках компактності вихідних варіантів розбивки після рішення ТЗЛП швидко "згладжується". Замічено також, що підібрати вихідні варіанти розбивки для одержання різних локальних компактних розбивок досить важко. Таким чином, оцінки різних локальних компактних розбивок мають невеликий розкид значень.

Викладені вище міркування дають підстави думати, що якість рішення розглянутої задачі не настільки критична до вихідних варіантів розміщення ОбОр на топологічному полі. Бажано, щоб в отриманому варіанті розміщення кожна компактна множина містила по одному обслуговуючому органу. У зв'язку із цим не так важливо, в якій точці компактної множини буде розміщений ОбОр, тому

що після рішення ТЗЛП і одержання множин M_s обслуговуючі органи переміщуються в центральні точки цих множин, і оцінки компактності "згладжуються".

Висновки

Основні процедури щодо формування топології логістичної системи вдалося сформулювати як задачу лінійного математичного програмування. Всі запропоновані задачі: закріплення при визначенні кількості ОбОр, призначень при визначенні місць їх розміщення, транспортна – при закріпленні точок споживання за обслуговуючими органами, мають ефективні алгоритми рішення. Ця обставина стає важливим при використанні ітераційної процедури переходу від вихідної розбивки точок до локальної компактної розбивки, а також при використанні зворотної процедури для генерації і пошуку нового вихідного варіанта розбивки, здатного привести до іншої компактної розбивки із кращою оцінкою.

Відзначимо також результати, пов'язані із введенням поняття компактної розбивки точок топологічного поля. Встановлено, що задачі розміщення ОбОр і закріплення точок за ними зводяться до задачі одержання компактної розбивки.

Список літератури

1. Петров, Э.Г. Территориально распределенные системы обслуживания / Э.Г. Петров, В.П. Писклакова, В.В. Бескоровайный. – К.: Техника, 1992. – 208 с.

2. 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.

3. Годлевский, М.Д. Принципы структурно-параметрического синтеза модели транспортно-складской системы транснациональной логистической компании [Текст] / В.В. Дыбская // Вестник НТУ "ХПИ". Системный анализ, управление и информационные технологии. – Х.: НТУ "ХПИ", 2009. – №10. – С. 23-30.

4. Годлевский, М.Д. Модель статической задачи структурного синтеза корпоративной информационно-вычислительной системы [Текст] / М.Д. Годлевский, В.Ю. Воловщиков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 2/2 (20). – С. 110-113.

5. Петров, Э.Г. Алгоритм структурно-топологической оптимизации централизованных сетевых систем [Текст] / Э.Г. Петров, А.Б. Болотов, В.В. Бескоровайный // Механизация и автоматизация управления. – 1986. – №1. – С. 28-31.

6. Бескоровайный, В.В. Модификация метода направленного перебора для синтеза топологии систем с радиально-узловыми структурами [Текст] / В.В. Бескоровайный // АСУ и приборы автоматики. – 2003. – Вып. 123. – С. 110-116.

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 [Текст] / В.В. Бескоровайный, З.А. Имангулова // Вестник ХГПУ: Новые решения в современных технологиях. – Х.: ХГПУ, 2000. – Вып. 83. – С. 4-7.

9. Годлевский, М.Д. СППР управления развитием корпоративной информационно-вычислительной системы при нечеткой исходной информации [Текст] / М.Д. Годлевский, В.Ю. Воловщиков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 2/2 (26). – С. 3-6.

10. 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.

11. Погребной В.К. Покрытие схем вычислительных устройств блоками унифицированного набора / В.К. Погребной // Известия Томского политехнического института. – 1970. – Т. 211. – С. 81–87.

12. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход / Н. Кристофидес. – М.: Мир, 1978. – 432 с.

13. Дегтярев Ю.И. Методы оптимизации / Ю.И. Дегтярев. – М.: Сов. радио, 1980. – 272 с.

Надійшла до редколегії 9.02.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.А. Подригало, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків.

ФОРМИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Л.В. Морозова

Рассмотрена задача формирования топологии логистической системы для обслуживания территориально распределенных потребителей. Исходными данными являются координаты местоположений потребителей на топологическом поле логистической системы и множество обслуживающих органов. В классе задач математического программирования предложены постановка и алгоритмы решения задачи определения числа обслуживающих органов, мест их размещения на топологическом поле, закрепление потребителей за органами.

***Ключевые слова**: логистическая система, топология системы, территориально распределенные потребители, обслуживающие органы, точки потребления, алгоритм решения.*

FORMATION OF TOPOLOGY LOGISTIC SYSTSEMS

L.V. Morozova

The problem of the formation of the topology of the logistics system to service geographically distributed users. The initial data are the coordinates of the locations of the consumers on a topological field logistics system and a variety of service agencies. In a class of mathematical programming tasks formulation and suggested algorithms for solving the problem of determining the number of service agencies, their locations on a topological field, securing consumers for bodies.

***Keywords**: logistic system, system topology, geographically distributed customers, serving the authorities, the consumption point, the decision algorithm.*