

УДК 519.863: 330.4

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.95.0.178

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СТРУКТУРНО-ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ МЕРЕЖ

Безкоровайний В. В.¹, Нефьодов Л. І.², Русскін В. М.³

¹Харківський національний університет радіоелектроніки

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет

³Харківська гуманітарно-педагогічна академія

Анотація. Сформульовано постановку і розроблено математичну модель двокритеріальної за показниками витрат і оперативності задачі реінжинірингу трирівневих топологічних структур для об'єднаних пунктів виробництва та переробки. Практичне використання запропонованої моделі дозволить підвищити ефективність логістичних мереж зі зворотними потоками за рахунок зменшення витрат на реінжиніринг з урахуванням показників їхньої оперативності.

Ключові слова: логістична мережа, структура, топологія, модель, оптимізація, реінжиніринг.

Вступ

У ринкових умовах усі складові процесів виробництва та збуту продукції реалізуються в умовах постійних змін внутрішнього (номенклатури продукції, технологій, комплектації обладнання) і зовнішнього (попит, ціни, топологія споживачів, екологічні обмеження) середовищ. Ефективність збутових процесів багато в чому визначається якістю відповідної логістики [1–3].

Однією з проблем в управлінні логістичними процесами є оптимізація мереж ланцюгів поставок. При цьому структурні, вартісні та функціональні характеристики логістичних мереж багато в чому визначаються їхньою топологією (розміщенням) елементів (виробників, терміналів, споживачів), які, у свою чергу, визначають топологію відповідних потоків. Подібні задачі системної оптимізації логістичних мереж є обов'язковою складовою технологій проектування чи модернізації систем технічного обслуговування та ремонту озброєння і військової техніки [4].

На певному етапі зміна умов функціонування призводить до того, що існуючі мережі стають неефективними чи перестають задовольняти зростаючим екологічним умовам, наприклад, у зв'язку з необхідністю утилізації використаної продукції. Спроби їх модернізації шляхом вирішення традиційних задач оптимізації не гарантують отримання ефективних варіантів. Виходом все частіше стає здійснення реінжинірингу, який передбачає фундаментальний аналіз існуючих варіантів побудови мереж (видів транспорту,

структури, топології, параметрів, технологій) з можливістю радикального перепроєктування [5]. З урахуванням того, що в логістичних мережах використовується відносно невелика множина альтернативних технологій, типів вузлів (оптових баз, терміналів), видів транспорту та типів транспортних засобів, головною проблемою з обчислювальної точки зору є оптимізація їх топологічної структури.

Аналіз публікацій

У загальному випадку процес оптимізації логістичної мережі передбачає вирішення комплексу задач технологічної, структурної, параметричної, топологічної оптимізації, багатофакторної оцінки та вибору рішень з урахуванням їх взаємозв'язків [6]. При цьому умовно незалежно розв'язуються задачі оптимізації макро- і мікрологістичних систем [7–8].

Задачі екологічної логістики спрямовані на підвищення еколого-економічної ефективності діяльності підприємств і зниження рівня ризиків економічних втрат, зумовлених погіршенням якості навколишнього середовища [9–10]. Предметом реверсивної логістики є впорядкування та систематизація зворотних товарно-матеріальних потоків [11–13]. Задачі прямої й реверсивної логістики традиційно розглядаються як умовно незалежні. Їхнє спільне розв'язання породжує множину нових задач, які вимагають розробки ефективних математичних моделей і методів дослідження [14].

У традиційній задачі структурно-топологічної оптимізації централізованої транспортно-складської системи вважаються заданими [15]: місце розташування центру постачання, множина споживачів $I = \{i : i = \overline{1, n}\}$, для кожного з яких визначено місце розташування, обсяги постачання та транспортні тарифи з доставки вантажів. Необхідно визначити оптимальну кількість l^o і місця розташування терміналів, а також підмножини споживачів, які обслуговуються кожним з терміналів $I_j = \{i\}, j = \overline{1, l^o}$. При цьому вважається, що термінали розташовуються у безпосередній близькості від споживачів продукції.

Метою є мінімізація наведених витрат на доставку продукції споживачам:

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

де c_j – наведені витрати на створення та використання j -го терміналу (включаючи витрати на доставку і зберігання вантажів); l – кількість терміналів; n – кількість споживачів продукції; q_i – обсяг вантажу для i -го споживача; r_i – транспортний тариф для доставки вантажу i -му споживачеві; d_{ij} – відстань між i -м споживачем і j -м терміналом; v_{ij} – булева змінна ($v_{ij} = 1$, якщо i -й споживач обслуговується j -м терміналом, $v_{ij} = 0$ – в іншому випадку).

Задача структурно-топологічної оптимізації мереж замкнутої логістики відрізняється врахуванням реверсивних потоків від споживачів до центрів виробництва, переробки чи утилізації. Витрати на мережу в цьому випадку складаються з витрат на доставку прямого потоку від центру виробництва до терміналів, обробку в терміналах прямого і зворотного потоків, доставку прямого потоку від терміналів до споживачів, доставку зворотного потоку від споживачів до терміналів та доставку зворотного потоку від терміналів до центру.

Математична модель такої задачі у випадку співпадіння пунктів виробництва і переробки може бути подана у такому вигляді [14]:

$$C = \sum_{i=1}^n c_i x_{ii} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min_x, \quad (2)$$

$$X = \begin{cases} x_{ij} \in \{0, 1\}, i, j = \overline{1, n}; \\ \sum_{i=j}^n x_{ij} \geq 1, \forall j = \overline{1, n}; \\ \sum_{j=1}^n \sum_{i=j}^n x_{ij} = 2(n-1) + \sum_{i=1}^n x_{ii}, \end{cases} \quad (3)$$

де c_i – наведені витрати на термінал, розміщений на базі (у безпосередній близькості від) i -го споживача; n – кількість елементів мережі; $X = [x_{ij}]$ – матриця зв'язків елементів мережі; x_{ij} – булева змінна ($x_{ij} = 1$, якщо між i -м і j -м елементами мережі існує безпосередній зв'язок, $x_{ij} = 0$ – в іншому випадку); c_{ij} – витрати на доставку вантажу потоку від елемента мережі i до елемента j .

Обмеження математичної моделі (2)–(3) задачі описують всю множину допустимих трирівневих централізованих структур із прямими і зворотними потоками. Наведені моделі орієнтовані на розв'язання задач структурно-топологічної оптимізації логістичних мереж на стадії їхнього проектування. Для розв'язання задач у процесі реінжинірингу необхідна розробка моделі, яка враховуватиме можливість використання вузлів існуючої інфраструктури.

Мета і постановка завдання

Метою статті є підвищення ефективності існуючих логістичних мереж за рахунок розробки математичної моделі задачі їх структурно-топологічної оптимізації для етапу реінжинірингу.

Задача реінжинірингу топологічної структури централізованої трирівневої замкнутої логістичної мережі з об'єднаними пунктами виробництва і переробки розглядається в такій постановці. Задані:

- множина елементів існуючої мережі;
- існуючий варіант топологічної структури мережі, який задається місцями розташування споживачів, терміналів (співпадають із місцями розміщення елементів), центрів виробництва і переробки, а також зв'язками між елементами, терміналами і центрами;
- наведені витрати на створення (модернізацію), експлуатацію терміналів, реалізацію

перевезень, вартість ресурсів, які можуть бути повторно використані (або реалізовані) після демонтажу обладнання терміналів чи транспортних засобів.

Необхідно визначити найкращий за показниками витрат і оперативності варіант топологічної структури логістичної мережі.

Модель структурно-топологічної оптимізації логістичних мереж за показником витрат

Введемо позначення:

– $I = \{i : i = \overline{1, n}\}$ – множина елементів існуючої мережі;

– $s' \in S^*$ – існуючий варіант топологічної структури мережі, який задається місцями розташування споживачів, терміналів (співпадають із місцями розміщення елементів), центрів (співпадають із місцем розміщення елемента $i = 1$), а також зв'язками між елементами, терміналами і центрами $[s'_{ij}]$, $i, j = \overline{1, n}$ ($s'_{ij} = 1$, якщо між елементами i та j існує безпосередній зв'язок та $s'_{ij} = 0$ – в іншому випадку);

– наведені витрати на створення (модернізацію), експлуатацію терміналів $[c_i]$, $i = \overline{1, n}$, реалізацію перевезень $[c_{ij}]$, $i, j = \overline{1, n}$, вартість ресурсів, які можуть бути повторно використані (або реалізовані) після демонтажу обладнання терміналів чи транспортних засобів.

Основні обмеження, які враховуються при оптимізації топологічних структур трирівневих централізованих мереж:

$$\Delta C(s', s) = \sum_{i=1}^n [c_i(1-s'_{ii})s_{ii} + d_i s'_{ii} s_{ii} + e_i(1-s_{ii})s'_{ii} - g_i(1-s_{ii})s'_{ii} c_i c_i +$$

$$+ \sum_{j=1}^n \sum_{i=j}^n [c_{ij}(1-s'_{ij})s_{ij} + d_{ij} s'_{ij} s_{ij} + e_{ij}(1-s_{ij})s'_{ij} - g_{ij}(1-s_{ij})s'_{ij}] \rightarrow \min_{s \in S^*},$$

$$S = \{s\} = \begin{cases} [s_{ij}], s_{ij} \in \{0, 1\}, i, j = \overline{1, n}, s_{11} = 1; \\ \sum_{i=j}^n s_{ij} \geq 1, \forall j = \overline{1, n}; \\ \sum_{j=1}^n \sum_{i=j}^n s_{ij} = n + \sum_{i=1}^n s_{ii}, \\ s_{ii} = 1 \rightarrow s_{i1} = 1 \forall i = \overline{1, n}; \\ s_{ii} \wedge s_{ij} = 1 \rightarrow ij = \arg \min_{1 \leq i, j \leq n} c_{ij} \forall i, j = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (5)$$

– кожен споживач мережі i , $i = \overline{1, n}$ має бути пов'язаним з одним з терміналів:

$$\sum_{j=1}^i s_{ij} + \sum_{i=j}^n s_{ij} = 1 \text{ для всіх } i \text{ для яких } s_{ii} = 0, \\ i = \overline{1, n} \text{ або безпосередньо з центром } s_{ii} = 0, \\ i = \overline{1, n};$$

– до кожного терміналу має бути безпосередньо підключено більше одного споживача

$$\sum_{j=1}^i s_{ij} + \sum_{i=j}^n s_{ij} > 1, \text{ для всіх } i, \text{ для яких } s_{ii} = 1, \\ i = \overline{1, n};$$

– кожен споживач i підключається до терміналу j за показником мінімуму наведених витрат:

$$s_{ii} \wedge s_{ij} = 1 \rightarrow ij = \arg \min_{1 \leq i, j \leq n} c_{ij} \forall i, j = \overline{1, n};$$

– кожен з терміналів мережі j має безпосередній зв'язок з центром $s_{jj} = 1 \rightarrow s_{1j} = 1, \forall j = \overline{1, n};$

– кількість терміналів у мережі знаходиться в діапазоні $1 \leq \sum_{i=1}^n s_{ii} \leq n/2$;

– загальна кількість безпосередніх зв'язків у структурі трирівневої мережі

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=j}^n s_{ij} = n + \sum_{i=1}^n s_{ii}.$$

Тоді математична модель задачі визначення найкращого варіанта реінжинірингу топологічної структури логістичної мережі за показником витрат матиме вигляд:

де c_i – витрати на створення i -го терміналу в новій структурі, $i = \overline{1, n}$; s'_{ij} , s_{ij} – елементи матриць суміжності (зв'язків) між елементами в існуючій $s' = [s'_{ij}]$ і мережі після реінжинірингу $s = [s_{ij}]$; d_i – витрати на модернізацію i -го терміналу; e_i – витрати на демонтаж i -го терміналу існуючої мережі; g_i , g_{ij} – вартість ресурсів, які можуть бути повторно використані (або реалізовані) після демонтажу обладнання i -го терміналу та транспортних засобів; c_{ij} – наведені витрати на перевезення між елементами i та j , $i, j = \overline{1, n}$.

Математична модель (4)–(5) подає опис задачі структурно-топологічної оптимізації логістичної мережі з радіально-вузловою структурою і може бути використана для її реінжинірингу за показниками капітальних, експлуатаційних або наведених витрат.

Двокритеріальна модель структурно-топологічної оптимізації логістичних мереж

Важливою характеристикою логістичних мереж є оперативність, яка відображає час доставки товарів від виробника до споживачів. За умови прагнення до мінімізації максимального часу доставки вантажів до споживачів критерій максимізації оперативності може бути поданий у вигляді:

$$\tau(s) = \tau(s) = \tau_{PT}(s) + \tau_T(s) + \tau_{TS}(s) \rightarrow \min_{s \in S^*}, \quad (6)$$

де $\tau_{PT}(s)$ – максимальний час транспортування вантажів від центру виробництва до терміналів; $\tau_T(s)$ – максимальний час обробки вантажів у терміналах; $\tau_{TS}(s)$ – максимальний час на доставку вантажів від терміналів до споживачів.

У двокритеріальній задачі оптимізації вибір варіантів здійснюється одночасно за дво-

ма показниками – (4) і (6). Для цього на допустимій множині варіантів побудови мережі $S^* = \{s\}$ необхідно визначити найбільш ефективний варіант за узагальненим показником:

$$s^o = \arg \max_{s \in S^*} P(s). \quad (7)$$

В умовах неповної визначеності вимог до властивостей мережі як оцінку її ефективності (загальної корисності) $P(s)$ в (7) пропонується використовувати функцію належності нечіткій множині «Найкращий варіант» [1]:

$$\langle \text{Найкращий варіант} \rangle = \{ \langle s, P(s) \rangle, \quad (8)$$

де $s \in S^*$ – варіант побудови мережі; $P(s)$ – значення функції загальної корисності варіанта $s \in S^*$, яке оцінює ступінь його належності нечіткій множині (8).

Для кількісної оцінки ефективності варіантів побудови мережі пропонується використати адитивно-мультиплікативну модель, побудовану на основі полінома Колмогорова-Габора:

$$P(s) = \sum_{i=1}^2 \lambda_i \xi_i(s) + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \lambda_{ij} \xi_i(s) \xi_j(s), \quad (9)$$

де λ_i , λ_{ij} – вагові коефіцієнти локальних критеріїв та їх добутків $\lambda_i \geq 0$, $\lambda_{ij} \geq 0$, $\xi_i(s)$ – функція корисності локального критерію $k_l(x)$, $l = i, j$.

Для оцінки цінності значень локальних критеріїв пропонується використовувати функцію-склейку, яка має переваги за показниками точності та кількості комп'ютерних операцій для її обчислення у порівнянні з функціями Гаусса, Харрінгтона і логістичною функцією [16]:

$$\xi(s) = \begin{cases} \bar{a} \cdot (b_1 + 1) \cdot \left\{ 1 - \left[b_1 / \left(b_1 + \frac{\bar{k}(s)}{\bar{k}_a} \right) \right] \right\}, & 0 \leq \bar{k}(s) \leq \bar{k}_a; \\ \bar{a} + (1 - \bar{a}) \cdot (b_2 + 1) \cdot \left\{ 1 - \left[b_2 / \left(b_2 + \frac{\bar{k}(s) - \bar{k}_a}{1 - \bar{k}_a} \right) \right] \right\}, & \bar{k}_a < \bar{k}(s) \leq 1, \end{cases} \quad (10)$$

де $\bar{k}_a, \bar{a}$ – нормовані значення координат точки склеювання складових функцій,

$0 \leq \bar{k}_a \leq 1$, $0 \leq \bar{a} \leq 1$; b_1, b_2 – параметри нелінійності початкової та кінцевої складових функцій.

На практиці для деяких видів вантажів зміна часу доставки $\tau(s)$ (6) є некритичною при зміні варіантів побудови логістичної мережі. Виходячи з цього, двокритеріальна задача (4)–(6) зводиться до однокритеріальної (4)–(5) з додатковим обмеженням на максимальний час доставки вантажу:

$$\max_{2 \leq i \leq n} \tau_i(s) \leq \tau^*, \quad (11)$$

де $\tau_i(s)$ – час доставки вантажу до i -го споживача; τ^* – допустимий час доставки вантажу.

Розглянута задача відноситься до класу дискретних задач комбінаторної оптимізації. Її розв'язання відомими комбінаторними методами, які використовують перебір всіх можливих варіантів побудови мережі, через їх високу часову складність є недоцільним.

Для спрощення процедури пошуку глобального оптимального розв'язку задачі доцільним є використання методів спрямованого перебору варіантів, запропонованого для реінжинірингу територіально розподілених об'єктів у роботі [1, 5].

Висновки

За результатами аналізу проблеми оптимізації топологічних структур логістичних систем встановлено, що задачі прямої й реверсивної логістики до цього часу розглядаються як умовно незалежні, що не дозволяє отримувати ефективні глобальні рішення проблеми в цілому. В умовах значного розширення мережі споживачів, змін обсягів постачання, введення екологічних обмежень виникає необхідність реінжинірингу логістичних мереж, який передбачає їх радикальне перепроектування. Сформульовано постановку і розроблено математичну модель двокритеріальної (за показниками витрат і оперативності) задачі реінжинірингу трирівневих топологічних структур для об'єднаних пунктів виробництва і переробки. Практичне використання запропонованої моделі дозволить підвищити ефективність логістичних мереж зі зворотними потоками за рахунок зменшення витрат на реінжиніринг з урахуванням показників їхньої оперативності.

Література

1. Beskorovainyi V., Sudik A. Optimization of topological structures of centralized logistics networks in the process of reengineering // Innovative

- Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2021. No. 1 (15). P. 23–31.
2. Govindan K., Fattahi M., Keyvanshokoooh E. Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions // European Journal of Operational Research. 2017. Vol. 263. P. 108–141.
3. Pascual Cortés Pellicer, Faustino Alarcón Valero. Identification of Reverse Logistics Decision Types from Mathematical Models. Journal of Industrial Engineering and Management. 2018. № 11 (2). PP. 239–249.
4. Морозов О.О. Методика синтезу системи технічного обслуговування та ремонту озброєння і військової техніки // Військово-технічний збірник. 2015. №12. С. 87–90.
5. Бескоровайный В.В. Метод структурно-топологической оптимизации для реинжиниринга территориально распределенных объектов // Системы обработки информации. 2004. Вып. 4. С. 26–33.
6. Бескоровайный В. В. Системологический анализ проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. 2002. Вып. 120. С. 29–37.
7. Смирнов І.Г., Косарева Т. В. Транспортна логістика. Київ: ЦУЛ, 2013. 224 с.
8. Iastremska O. Logistics at an enterprise: the peculiarities of procurement activities // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2018. No. 3 (5). P. 141–148.
9. Гурч Л. М., Хмара Л. Є. Розвиток «зеленої логістики» в Україні // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Логістика. 2014. № 811. С. 86–91.
10. Чортюк Ю. В. Напрямки зниження негативно-еколого-економічного впливу логістичної системи // Механізм регулювання економіки. 2007. №3. С. 165–172.
11. Pollock B., Dutta S. Driving Returns in the Reverse Logistics Service Chain // Reverse Logistics Magazine. 2016. Edition 16. PP. 26–29.
12. Лазарев В. А., Кулькова И. А. Реверсивная логистика – логистика возвратных и обратных потоков // Управленец. 2014. № 5 (51). С. 48–51.
13. Павлова Е. И., Мамедова И. А. Возвратные товаропотоки в логистике: причинные связи // Мир транспорта. 2015. Т. 13. № 5. С. 124–131.
14. Beskorovainyi V., Kuropatenko O., Gobov D. Optimization of transportation routes in a closed logistics system // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2019. No. 4 (10). P. 24–32.
15. Бескоровайный В. В., Имангулова З. А., Петрова А. И. Оптимизация количества и местоположения распределительных центров транспортно-складской системы // Восточно-

европейский журнал передовых технологий. 2012. № 5/3 (59). С. 24–28.

16. Beskorovainyi V., Berezovskyi H. Identification of preferences in decision support systems // ECONTechMOD. 2017. Vol. 06. №4. P. 15–20.

References

1. Beskorovainyi, V., Sudik, A. (2021). Optimization of topological structures of centralized logistics networks in the process of reengineering. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. No. 1 (15). P. 23–31.
2. Govindan, K., Fattahi, M., Keyvanshokoo, E. (2017). Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions. *European Journal of Operational Research*, Vol. 263, P. 108–141.
3. Pascual Cortés Pellicer, Faustino Alarcón Valero (2018). Identification of Reverse Logistics Decision Types from Mathematical Models. *Journal of Industrial Engineering and Management*. No. 11 (2). P. 239–249.
4. Morozov, O. (2018). Methods of forming of a hierarchical system of warehouses for servicing geographically dispersed consumers. *Control, navigation and communication systems*. No. 5 (51). P. 98–101.
5. Beskorovainyi, V. V. (2004). Method of structural-topological optimization for reengineering of geographically distributed objects ["Metod strukturno-topologicheskoy optimizatsii dlya reynzhiniringa territorial'no raspredelennykh ob'yektov"]. *Information processing systems*, Vol. 4, P. 26–33 [in Russian].
6. Beskorovainyi, V. V. (2002). Systemological analysis of the problem of structural synthesis of geographically distributed systems ["Sistemologicheskii analiz problemy strukturnogo sinteza territorial'no raspredelennykh sistem"]. *Automated control systems and automation devices*. Issue 120. P. 29–37 [in Russian].
7. Smirnov, I. G., Kosareva, T. V. (2013). *Transport logistics [Transportna lohystyka]*, Kyiv: CUL, 224 p. [in Ukrainian].
8. Iastremska, O. (2018). Logistics at an enterprise: the peculiarities of procurement activities. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. No. 3 (5). P. 141–148.
9. Hurch, L., Khmara, L. (2014). Development of "green logistics" in Ukraine ["Rozvytok "zelenoyi lohystyky" v Ukraini"]. *Bulletin of Lviv Polytechnic National University, Logistics*. No. 811. P. 86–91 [in Ukrainian].
10. Chortok, Y. (2007). Directions to reduce the negative ecological and economic impact of the logistics system ["Napryamky znyzhennya nehatyvnoho ekoloho-ekonomichnoho vplyvu lohistychnoyi systemy"]. *The mechanism of regulation of the economy*. No. 3. P. 165–172 [in Ukrainian].

11. Pollock, B., Dutta, S. (2016). Driving Returns in the Reverse Logistics Service Chain. *Reverse Logistics Magazine*. Edition 16. P. 26–29.
12. Lazarev, V., Kul'kova, Y. (2014). Reverse logistics – the logistics of return and reverse flows ["Reversivnaya logistika – logistika vozvratnykh i obratnykh potokov"]. *Manager*, No. 5 (51), P. 48–51 [in Russian].
13. Pavlova, E., Mamedova, I. (2015). Return commodity flows in logistics: causal relationships ["Vozvratnye tovaropotoki v logistike: prichinnye svyazi"]. *World of transport*, Vol. 13, No. 5, P. 124–131 [in Russian].
14. Beskorovainyi, V., Kuropatenko, O., Gobov, D. (2019). Optimization of transportation routes in a closed logistics system". *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. No. 4 (10). P. 24–32.
15. Beskorovainyi, V., Imangulova, Z., Petrova, A. (2012). Optimization of the number and location of distribution centers of the transport and storage system ["Optimizatsiya kolichestva i mestopolozheniya raspredelitel'nykh tsentrov transportno-skladskoy sistemy"]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 5/3 (59). P. 24–28.
16. Beskorovainyi, V., Berezovskyi, H. (2017). Identification of preferences in decision support systems. *ECONTechMOD*. Vol. 06, No. 4, P. 15–20.

Безкоровайний Володимир Валентинович¹, д.т.н., проф., тел.: +38 050-983-03-29, vladimir.beskorovainyi@nure.ua,

Нефьодов Леонід Іванович², д.т.н., проф., тел.: +38 095-885-33-89, nefedovli@gmail.com,

Русскін Володимир Михайлович³, к.т.н., доц., тел.: +38 050-302-55-98, v_russkin@ukr.net.

¹Харківський національний університет радіоелектроніки, 61166, Україна, м. Харків, пр. Науки, 14.

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

³Харківська гуманітарно-педагогічна академія, 61000, Україна, м. Харків, пер. Руставелі, 7.

Mathematical model of structural and topological optimization of logistics networks

Abstract. The subject of research in the article is the topological structures of closed-loop logistics networks. The goal of the article is to increase the efficiency of centralized logistics networks by developing a mathematical model for a two-criteria problem of optimizing topological structures in the process of their reengineering. The article solves the following tasks: analysis of the current state of the problem of structural and topological optimization of logistics networks; formalization of the problem of optimization of logistics networks as geographically

distributed objects; synthesis of objective functions of the mathematical model of a two-criterion optimization problem for centralized three-level topological structures of closed logistics networks at the reengineering stage; development of a system of constraints of the mathematical model of the problem of optimizing centralized three-level topological structures of closed logistics networks; a function for evaluating the overall utility of options based on the Kolmogorov-Gabor polynomial is offered. **The following methods** are used: methods of systems theory, methods of utility theory, optimization and operations research. **The following results** were obtained: the analysis of the current state of the problem of system optimization of logistics networks, mathematical models and methods for its solution was carried out; formalization of the problem of structural and topological optimization of logistics networks as geographically distributed objects; a mathematical model of a two-criterion task of reengineering of three-level topological structures of logistics networks in terms of costs and efficiency with integrated points of production and processing has been developed (**originality**). **Conclusions:** Based on the results of the analysis of the problem of optimizing the topological structures of logistics systems, it has been established that the problems of direct and reverse logistics are still considered as conditionally independent, which does not allow obtaining effective global solutions. In the context of

expanding the network of consumers, changes in delivery volumes, the introduction of environmental restrictions, it is proposed to reengineer the networks, which provides for their radical redesign. The formulated statement and the developed mathematical model of a two-criterion (in terms of cost and efficiency) optimization problem for three-level topological structures for combined production and processing points will increase the efficiency of logistics networks with reverse flows by reducing the cost of reengineering (**practical value**).

Key words: logistics network, structure, topology, model, optimization, reengineering.

Volodymyr Beskorovainyi¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor, tel.: +38 050-983-03-29, vladimir.beskorovainyi@nure.ua,

Nefedov Leonid², Doctor of Engineering Sciences, Professor,

tel.: +38 095-885-33-89, nefedovli@gmail.com,

Vladimir Russkin³, PhD, Associate Professor,

tel.: +38 050-302-55-98, v_russkin@ukr.net.

¹Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave. 14, Kharkiv, 61166, Ukraine.

²Kharkiv National Automobile Highway University, Kharkiv, Yaroslava Mudrogo St., 25, 61002, Ukraine.

³Kharkiv Humanitarian and Pedagogical Academy, Kharkiv, Rustaveli Lane, 7, 61000, Ukraine.