

УДК 658.7:658.8(078.9)

**МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ РІВНЯ ЯКОСТІ ЛОГІСТИЧНОГО
СЕРВІСУ В ЛАНЦЮГАХ ПОСТАЧАНЬ**

Загурський О.М. д.е.н., професор (НУБіП України)

В роботі сформульовано економіко-математичні моделі (лінійну та динамічну) оцінки рівня якості логістичного сервісу в ланцюзі постачань. В них процедура пошуку оптимального рішення передбачає вибір (з безлічі можливих) значень показників логістичного сервісу, що забезпечують формування максимального прибутку за дотримання встановлених обмежень. Запропоновані моделі допускають врахування значень комплексу показників логістичного сервісу, що виділяє їх серед розроблених раніше.

Ключові слова: ланцюг постачань, логістичний сервіс, логістичні витрати, оптимізаційні моделі, прибуток, рівень обслуговування.

MODELS FOR OPTIMIZING THE QUALITY OF LOGISTICS SERVICES IN SUPPLY CHAINS

Zagurskiy O., D.Sc.(Economics), Professor (NULES Ukraine)

The optimal level of logistics service quality is a balance between the priority of high-quality customer service and the related costs associated with its implementation. Development of an optimization model of the quality level of logistics service in supply chains requires the construction of a conceptual goal and the construction of a structural mathematical model that reflects the connections and relationships of its components. The article formulates economic and mathematical models (linear and dynamic) for assessing the level of quality of logistics service in the supply chain. In them, the procedure of finding an optimal solution involves choosing (from a variety of possible) parameters of the logistics service that ensure the generation of maximum profit while complying with the established restrictions. Alternative profit values are calculated by subtracting the corresponding values of estimated total expenses from the values of estimated revenue. The revenue and total logistics costs are calculated by adding to the base values of these indicators the growth values calculated using coefficients that depend on the values of the logistics service indicators. The proposed models allow taking into account the values of a set of indicators of logistics service, which differentiates them from the previously developed ones. However, regardless of the type of optimization model, accurate input data is required to obtain a reliable solution, especially with regard to actual logistics costs. The generation of logistics costs takes place in a logistics system that combines several interconnected subsystems, which requires a comprehensive analysis of logistics costs and the mechanism of their generation in order to develop a model for optimizing the total costs of the supply chain.

Keywords: *supply chain, logistics service, logistics costs, optimization models, profit, service level.*

Постановка проблеми. Обслуговування споживачів є результатом спільної роботи маркетингу і логістики, що проявляється при встановленні рівня логістичного сервісу, який надається в ланцюзі постачань у момент укладання угоди, а також після її завершення. Маркетинг встановлює значення для показників логістичного сервісу, що характеризують його рівень, а логістична система підприємства, підрозділи якої відповідальні за досягнення цільових значень показників реалізують заданий рівень якості сервісу. Чим вище заданий рівень якості логістичного сервісу, тим вище задоволення споживача, а разом з ним і вищі викликані ним загальні логістичні витрати.

В ідеальному випадку в результаті взаємодії маркетингу та логістики має встановлюватися оптимальний рівень якості логістичного сервісу – баланс між пріоритетом високоякісного обслуговування споживачів та супутніми витратами пов'язаними з його впровадженням – який забезпечує досягнення системою максимального прибутку, що визначається як різниця виручки від реалізації продукту та загальних логістичних витрат. Завдання знаходження якого може бути досягнуто за допомогою побудови відповідних оптимізаційних моделей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі з логістичного менеджменту та управління

ланцюгами постачань рівень якості логістичного сервісу [1; 2; 3] оцінюють через ступінь задоволення виконанням логістичним провайдером основних логістичних операцій в ланцюзі постачання, однак деякі визнають, що з огляду на концепцію управління ланцюгами постачання, найбільш прийнятною для оцінки рівня якості логістичного сервісу є точка зору клієнта [4; 5; 6], а в моделях А. Парасурамана, В.А. Зайтхмала, Л.Л. Беррі [8], а також в розробках Ментцера, Флінта та Хульта [9], рівень якості логістичного сервісу пропонується оцінювати відносно очікувань клієнтів, особливо у випадку бажання досягти максимальної задоволеності потреб своїх клієнтів.

Наявність різноманіття суджень і підходів щодо рівня якості логістичного сервісу та відсутність комплексної моделі його оцінки зумовлює актуальність нашого дослідження.

Метою статті є розробка економіко-математичних моделей оцінки рівня якості логістичного сервісу в ланцюзі постачань.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розробка оптимізаційної моделі насамперед потребує побудови концептуальної задачі, щодо формулювання завдання в термінах предметної області, і побудови структурної економіко-математичної моделі, яка відображає зв'язки і відносини її компонентів.

Логістичний сервіс характеризується значеннями низки показників сервісу. Кожен показник логістичного сервісу може набувати єдиного значення з безлічі можливих. Кожному значенню кожного показника логістичного сервісу ставляться у відповідність коефіцієнти, що відображають вплив значень цих показників на виручку та загальні логістичні витрати. Значення виручки та

загальних логістичних витрат при реалізації логістичного сервісу на базовому рівні (базові значення виручки та загальних витрат відповідно) задані. Базовим рівнем логістичного сервісу є рівень сервісу, який може бути наданий усім клієнтам компанії. Коефіцієнти при базових значеннях показників логістичного сервісу дорівнюють одиниці.

Потрібно знайти комбінацію значень показників логістичного сервісу, які забезпечують досягнення ланцюгом постачань максимального прибутку. Розрахунок прибутку здійснюється шляхом віднімання від значення виручки значень загальних логістичних витрат. Слід пояснити, що в нашому дослідженні, під загальними або загальними логістичними витратами маються на увазі загальні операційні витрати ланцюга постачань, які обмежено значенням максимальних допустимих витрат. Графічне уявлення концептуальної задачі у вигляді моделі «чорної скриньки», де показані вхідні та вихідні дані та впливи, представлено на рис 1.

Він демонструє перетворення вхідних показників у вихідний з допомогою певних математичних співвідношень, встановлення яких потребує подальшої деталізації зв'язків компонентів моделі. Для відображення безлічі компонентів оптимізаційної моделі, а також для визначення зв'язків та відносин між ними була розроблена представлена на рис 2 діаграма впливу компонентів оптимізаційної моделі. В ній передбачається, що коефіцієнти, які відбивають вплив значень показників логістичного сервісу на виручку та загальні логістичні витрати ланцюга постачань, задані. Як що ж вхідні дані неповні або невідомі взагалі вони можуть бути знайдені на основі регресійного аналізу [9; 10], або знайдені методом інтерполяції.

Крім того, передбачається, що значення показників логістичного сервісу впливають на значення виручки та загальних логістичних витрат незалежно один від одного. При цьому можливий синергетичний ефект впливу значень показників логістичного сервісу не враховується. Наслідком цього припущення є лінійність цільових функцій моделей. Позитивною стороною лінійності моделей є відносна простота пошуку рішення.

Процедура пошуку оптимального рішення передбачає вибір (з безлічі можливих) значень показників логістичного сервісу, що забезпечують формування максимального прибутку за дотримання встановлених обмежень [11]. Альтернативні значення прибутку обчислюються шляхом віднімання від значень розрахункової виручки відповідних значень розрахункових загальних витрат. Значення виручки та загальних логістичних витрат розраховуються додаванням до базових значень зазначених показників значень приросту, що обчислюються за допомогою коефіцієнтів, залежних від значень показників логістичного сервісу. Встановлення взаємозв'язків компонентів оптимізаційного завдання надає можливість розробки математичної моделі оптимізації логістичного сервісу ланцюга постачань.

$$\Delta R_{ij}(S_{ij}) = Rb \times (K_{rij}(S_{ij}) - 1), K_{rij} > 0, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, m\}, \quad (3)$$

де i – номер показника логістичного сервісу;

j – номер можливого значення показника логістичного сервісу;

ΔR_{ij} – приріст виручки, забезпечений j -им значенням i -ого показника логістичного сервісу;

S_{ij} – j -е значення i -ого показника логістичного сервісу;

Лінійна математична модель оптимізації логістичного сервісу
Користуючись концептуальною постановкою задачі та структурною моделлю, сформульовано лінійну математичну модель оптимізації логістичного сервісу. Нижче представлені формули для розрахунку значень основних її компонентів. Так, прибуток ланцюга постачань розраховується за формулою:

$$TP = TR - TC \quad (1)$$

де TP – значення прибутку ланцюга постачань;

TR – значення виручки ланцюга постачань;

TC – значення загальних логістичних витрат ланцюга постачань.

Значення виручки з урахуванням її приросту від рівня логістичного сервісу обчислюється за формулою:

$$TR = Rb + \Delta R, \quad (2)$$

де Rb – значення виручки при реалізації логістичного сервісу на базовому рівні;

ΔR – сумарний приріст виручки, викликаний реалізацією логістичного сервісу відмінного від базового рівня.

Приріст виручки, забезпечений будь-яким значенням будь-якого з аналізованих показників логістичного сервісу, може бути розрахований наступним чином:

K_{rij} – коефіцієнт, що відображає вплив j -ого значення i -ого показника логістичного сервісу на виручку;

n – кількість показників логістичного сервісу;

m – кількість можливих значень показників логістичного сервісу.

Сумарний приріст виручки залежить від вибору значення для кожного з показників логістичного сервісу:

$$\Delta R(x_{ij}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta R_{ij}(S_{ij}) \times x_{ij}, x_{ij} \in \{0,1\} \quad (4)$$

де x_{ij} – булева змінна, що відображає рішення про прийняття чи відмову від j -ого значення i -ого показника логістичного сервісу.

Значення загальних логістичних витрат розраховується наступним чином:

$$TC = TCb + \Delta TC, \quad (5)$$

де TCb – значення загальних логістичних витрат за реалізації логістичного сервісу на базовому рівні;

ΔTC – сумарний приріст загальних витрат, викликаний реалізацією фактичного логістичного сервісу від базового рівня.

Виходячи з цього приріст загальних витрат, що викликаний будь-яким значенням будь-якого з аналізованих показників логістичного сервісу, може бути розрахований наступним чином:

$$\Delta TC_{ij}(S_{ij}) = TCb \times (Kc_{ij}(S_{ij}) - 1), Kc_{ij} > 0, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, m\}, \quad (6)$$

де ΔTC_{ij} – приріст загальних витрат, викликаний j -им значенням i -ого показника логістичного сервісу;

Kc_{ij} – коефіцієнт, що відображає вплив j -ого значення i -ого показника логістичного сервісу на загальні витрати.

При чому коефіцієнти Kr_{ij} і Kc_{ij} , які використовуються при розробці моделі оптимізації рівня логістичного сервісу, набувають значення більше 1, якщо значення показника логістичного

сервісу забезпечує зростання значення фінансового показника (виручки або загальних витрат), і знаходиться в межах від 0 до 1 у іншому випадку. Базовим значенням показників логістичного сервісу відповідають коефіцієнти рівні 1.

Сумарний приріст загальних витрат залежить від вибору значення для кожного з показників логістичного сервісу:

$$\Delta TC(x_{ij}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta TC_{ij}(S_{ij}) \times x_{ij}, x_{ij} \in \{0,1\} \quad (7)$$

Вираз для розрахунку значення максимально допустимого приросту загальних витрат має такий вигляд:

$$\Delta TC_{max} = TC_{max} - TCb, 0 < TCb < TC_{max} \quad (8)$$

де ΔTC_{max} – максимально допустимий приріст загальних логістичних витрат;

TC_{max} – значення максимально допустимих загальних логістичних витрат ланцюга постачань.

Інтеграція розглянутих вище компонентів дозволяє розробити математичну модель оптимізації значень показників логістичного сервісу. Цільова функція якого у розгорнутому вигляді наступна:

$$TP(x_{ij}) = Rb + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Rb \times (Kr_{ij}(S_{ij}) - 1) \times x_{ij} - (TCb + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m TCb \times (Kc_{ij}(S_{ij}) - 1) \times x_{ij}) \rightarrow \max \quad (9)$$

або в скороченому та приведенному до приросту прибутку вигляді:

$$\Delta TP(x_{ij}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\Delta R_{ij}(S_{ij}) - \Delta TC_{ij}(S_{ij})) \times x_{ij} \rightarrow \max \quad (10)$$

де ΔTP – приріст прибутку ланцюга постачань.

за обмежень:

1) обмеження значень змінних

$$x_{ij} \in \{0,1\}, i \in \{1, \dots, n\}, j \in \{1, \dots, m\};$$

2) обмеження вибору єдиного із можливих значень для кожного показника логістичного сервісу

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \forall i \in \{1, \dots, n\}$$

3) обмеження приросту загальних витрат

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta TC_{ij}(S_{ij}) \times x_{ij} \leq \Delta TC_{\max}, \Delta TC_{\max} \geq 0$$

Розроблена модель є *Модель динамічного програмування* детермінованою лінійною статичною *рівня якості логістичного сервісу.* моделлю з булевими змінними. За *Для розробки моделі динамічного* необхідності почергового (поетапного) *програмування* потрібне перетворення врахування показників логістичного *вхідних даних.* Приріст прибутку, *викликаний* будь-яким значенням будь-якого з аналізованих показників *динамічного програмування,* а рішення логістичного сервісу, *розраховується* за знайдено за допомогою рекурентних *формулою:* рівнянь.

$$\Delta TP_{ij}(S_{ij}) = \Delta R_{ij}(S_{ij}) - \Delta TC_{ij}(S_{ij}), \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, m\} \quad (11)$$

де ΔTP_{ij} – приріст прибутку, *Безліч значень показників* забезпечений *ж-им значенням і-ого логістичного сервісу,* приросту загальних витрат та приросту прибутку можуть бути *задані* таким чином:

$$S_i^{set} = \{S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{im}\}, i \in \{1, \dots, n\} \quad (12)$$

де S_i^{set} – безліч можливих значень і-ого показника логістичного сервісу, що складається з m елементів;

$$\Delta TC_i^{set} = \{\Delta TC_{i1}, \Delta TC_{i2}, \dots, \Delta TC_{im}\}, i \in \{1, \dots, n\} \quad (13)$$

де ΔTC_i^{set} – безліч значень приросту загальних витрат, що відповідають можливим значенням і-ого показника логістичного сервісу, який складається з m елементів;

$$\Delta TP_i^{set} = \{\Delta TP_{i1}, \Delta TP_{i2}, \dots, \Delta TP_{im}\}, i \in \{1, \dots, n\} \quad (14)$$

де TP_i^{set} – безліч значень приросту прибутку, що відповідає можливим значенням i -ого показника логістичного сервісу, який складається з m елементів.

Тоді відомі можливі значення i -ого показника логістичного сервісу $S_i \in S_i^{set}$ відповідні їм значення приросту загальних витрат $\Delta TC_i \in \Delta TC_i^{set}$ та приросту прибутку $\Delta TP_i \in \Delta TP_i^{set}$.

Оскільки знайдені значення приросту виручки і приросту загальних логістичних витрат залежить від значень показників логістичного сервісу, можна дійти висновку, що значення приросту прибутку також залежить від значень показників логістичного сервісу. Тоді необхідні формулювання моделі залежності можуть бути виражені, наступним чином:

$$\Delta TC_i = c_i(S_i), i \in \{1, \dots, n\} \quad (15)$$

де c_i – функція, що відображає залежність приросту загальних витрат від значення i -ого показника логістичного сервісу;

$$\Delta TP_i = p_i(S_i), i \in \{1, \dots, n\} \quad (16)$$

де $\Delta TC_{sum_i}'$ – приріст витрат, пов'язаний із зміною значень показників логістичного сервісу на i -му та всіх попередніх етапах;

$f'_{i-1}(\Delta TC_{sum_i}')$ – максимальний приріст прибутку, отриманий у сумі на i -му та всіх попередніх етапах.

Результати розв'язання такої задачі шляхом прямої прогонки відображено у роботах А. Лоїса і А. Зіліаскопулоса [13] та В. Шміда [14]. Проте на наш погляд

$$\int_i (\Delta TC_{sum_i}) = \max_{S_i \in S_i^{set}} \{p_i(S_i) + \int_{s+1} (\Delta TC_{sum_i} - c_i(S_i))\},$$

$$0 \leq c_i(S_i) \leq \Delta TC_{sum_i} \quad i \in \{1, \dots, n\}. \quad (19)$$

де p_i – функція, що відображає залежність приросту прибутку від значення i -ого показника логістичного сервісу.

Цільова функція математичної моделі оптимізації виглядає наступним чином:

$$\Delta TP(S_i) = \sum_{i=1}^n p_i(S_i) \rightarrow \max \quad (17)$$

за обмежень

1) обмеження приросту загальних витрат

$$\sum_{i=1}^n c_i(S_i) \leq \Delta TC_{\max}, \Delta TC_{\max} \geq 0$$

2) обмеження приросту загальних витрат від значення i -ого показника логістичного сервісу

$$c_i(S_i) \geq 0, \forall i \in \{1, \dots, n\}.$$

Для рішення завдань динамічного програмування використовується основне функціональне рівняння Беллмана, на основі якого виводяться рекурентні співвідношення [12].

Рекурентне співвідношення для рішення поставленої задачі методом прямої прогонки представлено нижче:

алгоритм зворотної прогонки застосований у працях С. Івамото [15] та П. Ч. Попа, К.-М. Пінтеа, К. П. Сігар, М. Хайду-Меселару [16] з погляду легкості застосування є більш ефективним. У зв'язку з цим нами було сформульовано також рекурентне співвідношення для вирішення задачі методом зворотної прогонки, яке має наступний вигляд:

де $\Delta TCsum_i$ – приріст витрат, пов'язаний із зміною значень показників логістичного сервісу на i -му та всіх наступних етапах;

$f_i(\Delta TCsum_i)$ – максимальний приріст прибутку, отриманий у сумі на i -ому та всіх наступних етапах.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Запропоновані моделі рівня якості логістичного сервісу в ланцюгах постачань допускають врахування значень комплексу основних показників логістичного сервісу, що виділяє їх серед розроблених раніше. Проте, незалежно від типу моделі оптимізації, для отримання достовірного рішення потрібні точні вхідні дані, особливо що стосуються фактичних логістичних витрат.

Формування логістичних витрат відбувається у логістичній системі, що об'єднує кілька взаємопов'язаних підсистем, у зв'язку з чим необхідний всебічний аналіз логістичних витрат та механізму їх формування з метою розробки моделі оптимізації загальних витрат ланцюга постачань. Така оптимізаційна модель може використовуватись незалежно і як складова частина розроблених моделей.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Овчаренко А.Г. Оцінювання якості логістичного обслуговування споживачів. *Економіка транспортного комплексу*. 2020. №35. 160-176.
2. Gulc A. Models and Methods of Measuring the Quality of Logistic Service, *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 182. P. 255-264.
3. Limbourg S., Giang H., Cools M. Logistics Service Quality. *The Case of Da Nang City*, *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 142. P. 124-130.
4. Загурський О. М. Підходи щодо вимірювання показників оцінки логістичного сервісу в ланцюгах постачань. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2022. № 78-79. С. 70-77.
5. Johnson J. C. Wood D. F. Contemporary Logistics 6th Edition Prentice Hall College Div, 6th edition. 1996. 622 p.
6. Zagurskyi O., Pokusa T., Zagurska S., Ohiienko M., Titova L., Rogovskii I. Ohiienko A., Razumova K., Berezova L. Current trends in development of transport and logistics systems of delivery of fast perishable foodstuffs. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2021, 238 p.
7. Parasuraman A., Zeithaml V. A., Leonard L. Berry A. Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research. *The Journal of Marketing*. 1985. Vol. 49, No. 4. P. 41-50.
8. Mentzer J.T., Flint D.J., Hult T. M. Logistics Service Quality as a Segment-Customized Process. *The Journal of Marketing*. 2001. Vol. 65 (4). P. 82-104.
9. Jeffery M.M., Butler R.J., Malone L.C. Determining a cost-effective customer service level. *Supply Chain Management: An International Journal*. 2008. № 3 (13). P. 225-232.
10. Peng C.-Y. J., Lee, K. L., & Ingersoll, G. M. An introduction to logistic regression analysis and reporting. *The Journal of Educational Research*. 2002. № 96(1). P. 3-14.
11. Zagurskyi O., Pokusa T., Duczmal M., Ohiienko M., Zagurska S., Titova L., Rogovskii I. Ohiienko A. Supply chain logistics service system: methods and models of its optimization. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2022. 192 p.
12. Bellman R. Dynamic programming and stochastic control processes, *Information and Control*. 1958. Vol. 1, Issue 3. P. 228-239.
13. Lois A., Ziliaskopoulos A. Online algorithm for dynamic dial a ride problem and its metrics. *Transportation Research Procedia*. 2017. Vol. 24. P. 377-384.
14. Schmid V. Solving the dynamic ambulance relocation and dispatching problem using approximate dynamic programming.

European Journal of Operational Research. 2012. Vol. 219, Issue 3. P. 611-621.

15. Iwamoto S. Reverse function, reverse program, and reverse theorem in mathematical programming, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*. 1983. Vol. 95, Issue 1. P. 1-19.

16. Pop P. C., Pinteа C-M, Sitar C. P., Hajdu-Măcelaru M. An efficient Reverse Distribution System for solving sustainable supply chain network design problem, *Journal of Applied Logic*. 2015. Vol. 13, Issue 2, Part A. P. 105-113.

REFERENCES

1. Ovcharenko A.H. (2020). Evaluation of the quality of logistics service for consumers [Evaluation of the quality of logistics service for consumers]. *Ekonomika transportnoho kompleksu*. № 35. P. 160-176.

2. Gulc A. (2017). Models and Methods of Measuring the Quality of Logistic Service. *Procedia Engineering*. Vol. 182. P. 255-264.

3. Limbourg S., Giang H., Cools M. (2016). Logistics Service Quality: The Case of Da Nang City. *Procedia Engineering*, Volume 142. P. 124-130.

4. Zahurs'kyj O.M. (2022). Approaches to measuring indicators of logistics service evaluation in supply chains [Approaches to measuring indicators of logistics service evaluation in supply chains]. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti*. № 78-79. P. 70-77.

5. Johnson J. C. Wood D. F. (1996) *Contemporary Logistics: 6th Edition* Prentice Hall College Div, 6th edition. 1996. 622 p.

6. Zagurskyi O., Pokusa T., Zagurska S., Ohiienko M., Titova L., Rogovskii I. Ohiienko A., Razumova K., Berezova L. (2021). Current trends in development of transport and logistics systems of delivery of fast perishable foodstuffs: Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 238 p.

7. Parasuraman A., Zeithaml V. A., Leonard L. Berry A. (1985). Conceptual Model

of Service Quality and Its Implications for Future Research. *The Journal of Marketing*. Vol. 49. No. 4. P. 41-50.

8. Mentzer J.T., Flint D.J., Hult T. M. (2001). Logistics Service Quality as a Segment-Customized Process. *The Journal of Marketing*. № 65 (4). P. 82-104.

9. Jeffery M.M., Butler R.J., Malone L.C. (2008). Determining a cost-effective customer service level. *Supply Chain Management: An International Journal*. № 3 (13). P. 225-232.

10. Peng C.-Y. J., Lee, K. L., & Ingersoll, G. M. (2002) An introduction to logistic regression analysis and reporting. *The Journal of Educational Research*. № 96(1). P. 3-14.

11. Zagurskyi O., Pokusa T., Duczmal M., Ohiienko M., Zagurska S., Titova L., Rogovskii I. Ohiienko A. (2022). Supply chain logistics service system: methods and models of its optimization: Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 192 p.

12. Bellman R. (1958). Dynamic programming and stochastic control processes. *Information and Control*. Vol. 1, Issue 3. P. 228-239.

13. Lois A., Ziliaskopoulos A. (2017). Online algorithm for dynamic dial a ride problem and its metrics. *Transportation Research Procedia*. Vol. 24. P. 377-384.

14. Schmid V. (2012). Solving the dynamic ambulance relocation and dispatching problem using approximate dynamic programming. *European Journal of Operational Research*. Vol. 219. Issue 3. P. 611-621.

15. Iwamoto S. (1983). Reverse function, reverse program, and reverse theorem in mathematical programming. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*. Vol. 95, Issue 1. P. 1-19.

16. Pop P. C., Pinteа C-M, Sitar C. P., Hajdu-Măcelaru M. (2015). An efficient Reverse Distribution System for solving sustainable supply chain network design problem. *Journal of Applied Logic*. Vol. 13, Issue 2. Part A. P. 105-113.