

## ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СЕРВІСУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЦІ

Розглянуто питання функціонування залізниць в умовах ринку транспортної продукції та послуг, що формується. Приведено математичну модель розподілу ресурсів на полігоні для забезпечення сервісу перевезень. Зроблено висновок про практичне застосування даної моделі у взаємодіючих автоматизованих робочих місцях оперативних працівників для реалізації необхідного рівня сервісу.

Рассмотрены вопросы функционирования железных дорог в условиях формирующегося рынка транспортной продукции и услуг. Приведена математическая модель распределения ресурсов на полигоне для обеспечения сервиса перевозок. Сделан вывод о практическом применении данной модели во взаимодействующих автоматизированных рабочих местах оперативных работников для реализации необходимого уровня сервиса.

The problems of railway operation in conditions of developing market of transport products and services have been considered. A mathematical model of distribution of resources on the testing area for ensuring the traffic service has been provided. A conclusion has been made about practical application of this model into cooperated automated workplaces of operative staff to ensure realization of the necessary level of service.

У даний час конкурентна політика різних видів транспорту усе в більшій мірі визначається рівнем якості наданих послуг. Згідно з Концепцією реструктуризації на залізничному транспорті України здійснення заходів щодо підвищення конкурентоспроможності повинно бути спрямоване на вирішення двох основних завдань: залізничний транспорт має бути розвиненим і гарантувати високий рівень якості послуг, що надаються; забезпечувати його доступність для користувачів [1].

Вивчення попиту на транспортні послуги свідчить, що одним з головних вимог клієнтів до роботи транспорту є своєчасність відправки і доставки вантажів. Зв'язано це з прагненням більшості вантажовласників до скорочення запасів як у сфері виробництва, так і в сфері обертання, оскільки їх витрати на утримання запасів складають по ряду галузей 20 % і більше від вартості продукції, що випускається. Відсутність гарантії своєчасної доставки чи відправки необхідного вантажу, можливість відмовлення чи кількаразового відкладання заявки на перевезення були характерними рисами сформованої раніше системи роботи транспорту [2].

У той же час залізничний транспорт здійснював перевезення, не цікавлячись потребами клієнтів в інших послугах. Тому в транспортному ланцюзі «виробник – перевізник – споживач» малися такі недоліки:

- низький рівень взаємодії між підприємствами транспорту і споживачами їхніх послуг;
- значна роз'єднаність інтересів сторін;

- низький рівень інформаційного зв'язку між учасниками перевізного процесу;

- неможливість інформування споживача про місце перебування відправки і часу прибуття до місця призначення;

- недосконала система документообігу.

Тепер же ринок транспортної продукції і послуг, що активно формується, загострює ряд питань, головні з яких зв'язані з функціонуванням залізниць в умовах, коли кожний перевізник формує своє коло клієнтури і створює найбільш привабливі для нього можливості реалізації продукції транспорту [3]. Тому для залізниць України актуальними є питання залучення додаткових вантажопотоків і підвищення ефективності транспортного виробництва за рахунок забезпечення зростаючих вимог вантажовласників до якості й ефективності транспортного обслуговування.

Основою вирішення проблеми підвищення конкурентоспроможності залізниць є розробка і впровадження таких технологій перевізного процесу, які забезпечать сервіс перевезення вантажів з максимальними вигодами, гарантоване виконання всіх вимог вантажовласників щодо обсягу і якості всіх видів транспортних послуг при можливому мінімумі витрат залізниць на основі системного підходу.

У роботі [4] авторами розглядалися питання вибору варіанта обслуговування вантажовласників залізницями. З використанням теорії статистичних ігор вибір оптимального варіанта доцільно проводити на основі завбачливої стратегії, що забезпечує мінімальні середні збитки залізниці при її тривалому використанні.

Комплексну оцінку якості обслуговування клієнтури можна визначити рівнем ряду показників: ритмічністю перевезень, повнотою задоволення попиту, терміном доставки, транспортною доступністю, схоронністю, безпекою перевезень, комплексністю обслуговування, екологічністю перевезень, транспортною забезпеченістю.

Ця робота ще не містить досліджень у даному напрямку. Кожний з цих показників має самостійне значення. А для забезпечення повного обслуговування споживачів транспортних послуг необхідний облік усіх складових якості. Слід зазначити, що невиконання одного з показників чи зустріч із труднощами при його здійсненні, зведе до результуючого нулю рівень обслуговування, навіть при бездоганному виконанні інших умов. Це, у свою чергу, уплине на конкурентоздатність залізничного транспорту. Необхідність комплексної оцінки ще обумовлена і тим, що для різних груп вантажовласників той самий показник може мати цілком протилежну значимість, що не повною мірою розкрито в роботах [2; 3].

Останнім часом велика увага приділяється питанням сервісного обслуговування користувачів залізничного транспорту і його рівня. Спостерігається тенденція виділяти з комплексу показників якості транспортного обслуговування один чи кілька показників і проводити оцінку його впливу на конкурентоспроможність транспорту і залучення клієнтів [5]. Однак оцінка рівня обслуговування носить як кількісну, так і якісну сторони. На Донецькій залізниці структура вантажопотоку дуже широка, тобто мають місце різні групи користувачів, що ставлять ті чи інші вимоги до якості обслуговування. Однак сервісу перевезень приділяється недостатня увага.

Визначити критеріальну функцію оптимального розподілу ресурсів залізниці для забезпечення сервісу перевезень по параметрах (вагонний парк, якій визначено за технічними нормами, послуги вантажовідправникам та вантажоотримувачам).

Реалізація необхідного рівня сервісу може бути заснована на теорії складних систем [6]. Розглянута система розподілу вагонів і послуг на залізниці складається з множини об'єктів  $K$  (станції навантаження, вантажовласники).

Для забезпечення виконання необхідних умов сервісу є множина  $I$  типів ресурсів (вагонів і послуг),  $I = \{1, \dots, n\}$ . Позначимо множину типів вагонів, необхідну для  $s$ -об'єкта,  $I_s; I_s \subset I$ . Відомий ресурс  $i$ -типу для  $s$ -об'єкта ( $x_i^s$ ). Множину станів  $i$ -ї складової  $s$ -го об'єкта позначимо  $C_s^i$ . Число елементів множини  $C_s^i$  дорівнює

$$\text{card} C_s^i = x_i^s + 1, \quad (1)$$

де

$$C_s^i = \{a_0^{is}, a_1^{is}, \dots, a_{x_i^s}^{is}\}$$

та номеру  $i$  відповідає задана кількість ресурса.

Далі задамо відображення  $\mu_{\hat{C}_s^i}: C_s^i \rightarrow [0,1]$ , що характеризує ступінь належності будь-якого стану  $a_v^{is} \in C_s^i$  до нечіткої множини «гарних» станів  $i$ -ї складової  $s$ -го об'єкта

$$\hat{C}_s^i = \{ \langle a_v^{is}, \mu_{\hat{C}_s^i}(a_v^{is}) \rangle \}.$$

Для характеристики функціональної придатності об'єктів до виконання цільових задач на множині  $C_s^i$  задамо нечітку множину  $\tilde{C}_s^i$  «працездатних» станів  $s$ -го об'єкта по  $i$ -й складовій

$$\tilde{C}_s^i = \{ \langle a_v^{is}, \mu_{\tilde{C}_s^i}(a_v^{is}) \rangle \}, \quad (2)$$

де

$$\mu_{\tilde{C}_s^i}: C_s^i \rightarrow [0,1].$$

Далі можна визначити ступінь належності «кращого» стану  $s$ -го об'єкта до множини  $\hat{C}_s^i$ . Для цього нам необхідно зафіксувати тип ресурсу і по всіх станах провести порівняння ступенів приналежності гарних і працездатних множин для вибору найменшого з них з метою одержання гарантованого результату. З усіх зафіксованих мінімальних значень вибирається максимальний елемент, знайдений стан позначається. Аналогічна операція проводиться по всіх типах параметрів. Кінцеве вираження буде мати такий вигляд:

$$\mu(a^s) = \min_i \max_v \min \{ \mu_{\tilde{C}_s^i}(a_v^{is}), \mu_{\hat{C}_s^i}(a_v^{is}) \}. \quad (3)$$

У процесі виконання об'єктами свого цільового призначення в умовах виникнення додаткового впливу зовнішнього середовища відбувається незаплановане споживання ресурсів, тобто відбувається зміна стану об'єктів у бік збитку чи заповнення наявних ресурсів. Тим самим об'єкти переходять з початкового стану по кожній складовій  $a_v^{is}$  у стан  $a_k^{is}$ ,  $k \leq v$ ,  $\forall i \in I \quad \forall s \in K$ . Такий перехід може бути заданий нечітким відображенням

$$\lambda^{is}: \hat{C}_s^i \rightarrow \hat{C}_s^i \cdot [0,1], \quad (4)$$

де образ кожного елементу з  $\hat{C}_s^i$  – це нечітка множина.

Тому що кількість ресурсів на будь-якому об'єкті кінцева, те нечітке відображення  $\lambda^{is}$  може бути однозначно визначено нижньою трикутною матрицею  $L^{is}$  такого виду:

$$L^{is} = \begin{bmatrix} \lambda_{11}^{is} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \lambda_{21}^{is} & \lambda_{22}^{is} & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{x_i^s+1,1}^{is} & \dots & \dots & \dots & \lambda_{x_i^s+1,x_i^s+1}^{is} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

де  $\lambda_{vk}^{is} = \lambda^{is}(a_k^{is})$  характеризує можливість переходу  $s$ -го об'єкта по  $i$ -й складовій в стан  $a_k^{is}$ , якщо в початковий момент він був в стані  $a_v^{is}$ ; при цьому  $k < v$ .

Ступінь належності  $\mu_{\hat{C}_s^i}(a_k^{is})$   $a_k^{is}$ -го стану  $s$ -го об'єкта по  $i$ -й складовій до нечіткої множини кращих станів  $\hat{C}_s^i$  визначається відповідно до правил нечіткого відображення нечіткої множини  $\hat{C}_s^i \rightarrow \hat{C}_s^i$  та обчислюється за формулою

$$\mu_{\hat{C}_s^i}(a_k^{is}) = \max_v \min \left\{ \mu_{\hat{C}_s^i}(a_v^{is}), \lambda^{is}(a_v^{is}, a_k^{is}) \right\}. \quad (6)$$

Далі введемо позначення кількості ресурсу  $i$ -го типу в  $f$ -й підсистемі  $l$ -го рівня  $\delta_i^{lf}$ . Введемо умовну нечітку множину кращих станів  $i$ -ї складової  $s$ -го об'єкта при сумарному ресурсі в системі

$$\bar{C}_s^i = \left\{ \langle a_v^{is}, \mu_{\bar{C}_s^i}(a_v^{is} | \delta_i) \rangle \right\}, \quad (7)$$

де

$$\mu_{\bar{C}_s^i} : C_s^i \cdot \delta_i \rightarrow [1].$$

Дана умовність викликається невизначеністю попиту ресурсу на інших об'єктах  $i$ , отже, нечіткістю в забезпеченні  $s$ -го об'єкта додатковим ресурсом.

Аналогічно (3) ступінь належності кращого стану  $s$ -го об'єкта при кількості ресурсу в системі резервування  $\delta_i$  дорівнює

$$\mu(a^s | \delta_i) = \min_i \max_v \min \times \left\{ \mu_{\bar{C}_s^i}(a_v^{is}), \mu_{C_s^{-i}}(a_v^{is} | \delta_i) \right\}. \quad (8)$$

Нечітка множина кращих станів усієї системи об'єктів, що резервується при сумарному ресурсі  $\delta_i$  можна визначити в такий спосіб

$$C = \times_{i=1}^n \times_{s=1}^k C_s^{-i}, \quad (9)$$

де  $k$  – загальне число об'єктів.

Ступінь належності

$$\mu(a | \delta) = \min_s \min_i \max_v \min \times \left\{ \mu_{\bar{C}_s^i}(a_v^{is}), \mu_{C_s^{-i}}(a_v^{is} | \delta_i) \right\}, \quad (10)$$

можна інтерпретувати як ступінь належності кращого стану системи об'єктів у цілому і використовувати як характеристики її функціональної придатності. Задаючи необхідний рівень

$$\mu(a | \delta) \geq \mu^+, \quad (11)$$

де  $\mu^+$  – задане значення,  $\mu^+ \in [0,1]$ , можна регулювати процес заповнення системи резервування ресурсами.

Уведемо множину  $R_i^s = \{0,1,\dots,x_i^s\}$ , елементи якої дорівнюють можливому попиту ресурсів  $i$ -го типу  $s$ -м об'єктом,  $\forall i \in I_s, \forall s \in K$ . На множині  $R_i^s$  задамо нечітку множину «доступного» ресурсу для  $i$ -ї складової  $s$ -го об'єкта при кількості ресурсу в системі резервування  $\delta_i$

$$\hat{R}_i^s(\delta_i) = \left\{ \langle v, \mu_i^{rs}(v | \delta_i) \rangle \right\}, \quad v = 0, \dots, x_i^s, \quad (12)$$

де

$$\mu_i^{rs} : R_i^s \cdot \delta_i \rightarrow [0,1].$$

Значеннями ступеня належності множини доступного ресурсу і множини гарних станів  $s$ -го об'єкта однозначно визначаються ступені приналежності умовної нечіткої множини його гарних станів

$$\left. \begin{aligned} \mu_{C_i^{-s}}(a_v^{is} | \delta_i) &= 1 - \bigwedge_{j=1}^v \\ \left\langle \left[ 1 - \mu_{C_i^{-s}}(a_{x_i^s - v + j}^{is}) \right] \wedge \left\{ \bigwedge_{\varphi=1}^{x_i^s} \left[ 1 - \mu_i^{rs}(\varphi | \delta_i) \right] \right\} \right\rangle \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

На кожній множині ресурсів  $i$ -ї категорії  $f$ -ї підсистеми  $l$ -го рівня задамо нечітку множину ресурсів, «передбачуваних до залучення» з резерву  $\delta_i$

$$Y_i^{lf}(\delta_i) = \left\{ \langle y_i^{lf}, \mu_i^{lf}(y_i^{lf} | \delta_i) \rangle \right\}, \quad (14)$$

де

$$\mu_i^{lf} : \left\{ 0, 1, \dots, \sum_{j \in \mathcal{X}^{lf}} x_j^s - \varepsilon_i^{lf} \right\} \delta_i \rightarrow [0,1].$$

Через  $\hat{\Omega}_{y_i^{lf}}(\delta_i)$  можна позначити нечітку множини «можливих» комбінацій залучення  $y_i^{lf}$  ресурсу  $i$ -ї категорії з резерву  $\delta_i^{lf}$

$$\hat{\Omega}_{y_i^{lf}}(\delta_i) = \left\{ \langle \omega y_i^{lf}, \hat{\mu}_i^{lf} \left( \omega y_i^{lf} \mid \delta_i \right) \rangle \right\}, \quad (15)$$

де

$$\omega y_i^{lf} \in \Omega y_i^{lf}, \hat{\mu}_i^{lf} : \Omega y_i^{lf} \cdot \delta_i \rightarrow [0, 1].$$

Значеннями ступеня належності  $\mu_{\hat{C}_s^{is}}(a_v^{is})$  однозначно можна визначити ступінь належності множини ресурсів, передбачуваних до залучення, і множини можливих комбінацій залучення ресурсу.

Нечітка множина  $Y_i^{lf}(\delta_i)$  описує потреби в додатковому ресурсі  $f$ -ї підсистемі  $l$ -го рівня в умовах попиту ресурсів множиною об'єктів  $\chi^{lf}$ .

Отже, елемент із  $Y_i^{lf}(\delta_i)$  з максимальним ступенем належності припустимо інтерпретувати як найбільш очікуване споживання ресурсу  $i$ -го типу. Однак максимальний ступінь належності може відповідати декільком значенням  $y_i^{lf}$ . Виходячи з ідеї гарантованого задоволення попиту, можна вибрати максимальне значення  $y_i^{lf}$ , у результаті чого одержимо такий результат:

$$\langle y_i^{*lf}, \mu_i^{*lf} \left( y_i^{*lf} \mid \delta_i \right) \rangle = \max_{y_i^{lf}} \max_{\mu_i^{lf}} Y_i^{lf}(\delta_i). \quad (16)$$

Нечітка множина  $\hat{\Omega}_{y_i^{*lf}}$  містить у собі припустимі комбінації розподілу  $y_i^{*lf}$  ресурсу по множині об'єктів  $\chi^{lf}$ . Якщо вибрати комбінацію з максимальною функцією належності, то надалі можна розподілити ресурси в системі таким чином, щоб витрати на їхню доставку до пунктів призначення були мінімальними, тобто елемент

$$\langle \omega_i^{*lf}, \hat{\mu}_i^{*lf} \left( \omega_i^{*lf} \mid \delta_i \right) \rangle = \max_{\mu_i^{lf}} \hat{\Omega}_{y_i^{*lf}}(\delta_i), \quad (17)$$

відповідний найбільш достовірному розподілу ресурсів по об'єктах.

Визначимо критеріальну функцію

$$\Phi \left( \mu_{\hat{C}_s^{is}}, \mu_{\hat{C}_s^{is}}, d_i^{lf}, d_{is}^{lf}, \delta_i^{lf} \right) = \sum_{l=1}^t \sum_{f=1}^{m_l} \sum_{i=1}^n \left[ d_i^{lf} \left( \delta_i^{lf} - y_i^{*lf} \right) + \sum_{s \in \chi^{lf}} y_{is}^{*lf} d_{is}^{lf} \right], \quad (18)$$

де

$$\sum_{s \in \chi^{lf}} y_{is}^{*lf} d_{is}^{lf} = \omega y_i^{*lf}$$

характеризує витрати на утримування надлишків у системі резервування і витрати на доставку ресурсів до пунктів призначення при нечіткому стані об'єктів.

Тепер є всі необхідні дані, щоб сформулювати задачу обґрунтування оптимального розподілу вагонів. Визначимо мінімум критеріальної функції

$$\min_{\{ \delta_i^{lf} \}} \Phi \left( \mu_{\hat{C}_s^{is}}, \mu_{\hat{C}_s^{is}}, d_i^{lf}, d_{is}^{lf}, \delta_i^{lf} \right). \quad (19)$$

Вказану вище модель рекомендується застосовувати у взаємодіючих автоматизованих робочих місцях (АРМ) диспетчера-вагонорозподільника служби перевезень залізниці та поїзних диспетчерів вузлів і дільниць. При цьому доцільно враховувати комплексну оцінку якості обслуговування клієнтури.

### Висновки

В існуючих методах та моделях організації перевезень ще недостатньо врахована комплексна оцінка якості обслуговування клієнтури та сервісу. Для реалізації потрібного рівня сервісу доцільно використати модель нечітких множин теорії складних систем за ознаками об'єктів (станцій) та ресурсів (вагонів за їх типом), на основі якої можливо знайти мінімум критеріальної функції.

На перспективу запропоновану модель слід використовувати у взаємодіючих АРМ вищевказаних оперативних працівників. Подальший розвиток у даному напрямку потребує переходу до моделі вантажовласників та послуг, які надає залізниця у своїй інфраструктурі.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Концепція та Програма реструктуризації на залізничному транспорті України. – К.: НАБЛА, 1998. – 145 с.
2. Миротин Транспортная логистика / Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2001
3. Терешина Н. П. Взаимодействие с пользователями транспортных услуг / Н. П. Терешина, О. А. Кузнецова // Железнодорожный транспорт. – 2001. – № 8. – С. 69–71.
4. Кулешов В. М. Сучасні технології обслуговування вантажовласників на залізниці / В. М. Кулешов, Ю. В. Доценко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ, – Харків, – 2003. – Вип. 53. – С. 82–85.
5. Соколов Ю. И. Ритмичность перевозок как показатель качества транспортного обслуживания // Железнодорожный транспорт. – 2000. – № 5. – С. 68–69.
6. Дмитриев А. К. Основы теории построения и контроля сложных систем / А. К. Дмитриев, П. А. Мальцев. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1988. – 192 с.

Надійшла до редколегії 26.10.2005.