УДК 656.224

МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У КРУПНОМУ ТРАНСПОРТНОМУ ВУЗЛІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РЕЙКОВИХ АВТОБУСІВ

Кандидати техн. наук О. В. Розсоха, Г. В. Шаповал,
магістранти А. В. Боков, Р. О. Щербинін

МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПАСАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В КРУПНОМ ТРАНСПОРТНОМ УЗЛЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЛЬСОВЫХ АВТОБУСОВ

Кандидаты техн. наук А. В. Розсоха, А. В. Шаповал,
магистранты А. В. Боков, Р. О. Щербынин

MODEL OF OPTIMIZATION OF PASSENGER TRANSPORTATION IN A LARGE TRANSPORT HUBS AT THE USE OF RAIL BUSES

Ph.D. O. Rozsokha, A. Shapoval,
magistrands A. Bokov, R. Shcherbynin

У роботі пропонується математична модель оптимізації діяльності крупного транспортного вузла, у якій враховуються тільки пасажирські перевезення. Метою оптимізації є визначення кількості рейкових автобусів, що приписані до вузла; оптимальних тарифів на перевезення; розподіл транспортних одиниць за напрямками залежно від випадкового попиту на перевезення. Враховується можливість залучення додаткових транспортних одиниць у випадку недостатності власних. У моделі враховано вплив конкурентного автомобільного транспорту.

Запропонована математична модель заснована на двохетапній дворівневій задачі стохастичного програмування з квантильним критерієм. Дана постановка задачі враховує в собі декілька відомих підходів до моделювання складних економічних відносин.

Ключові слова: *пасажирські перевезення, оптимізація, математична модель, рейковий автобус.*

В работе предлагается математическая модель оптимизации деятельности крупного транспортного узла, в которой учитываются только пассажирские перевозки. Целью оптимизации является определение числа рельсовых автобусов, приписанных к узлу; оптимальных тарифов на перевозки; распределение транспортных единиц по направлениям в зависимости от случайного спроса на перевозки. Учитывается возможность привлечения дополнительных транспортных единиц в случае недостаточности собственных. В модели учтено влияние конкурентного автомобильного транспорта.

Предложенная математическая модель основана на двухэтапной двухуровневой задаче стохастического программирования с квантильным критерием. Данная постановка задачи учитывает в себе несколько известных подходов к моделированию сложных экономических отношений.

Процесс принятия решений в данной модели имеет двухэтапную структуру. Для моделирования двухетапности структуры принятия решения используется двухэтапная задача стохастического линейного программирования. Стратегией первого этапа является число рельсовых автобусов, приписанных к узлу, и тарифы на перевозку по каждому из направлений. На втором этапе рельсовые автобусы распределяются по направлениям в транспортном узле в зависимости от реализации случайного спроса на перевозки.

Для учета влияния конкурента используется двухуровневая задача. Предполагается участие на рынке двух игроков: лидера (транспортного узла) и последователя (конкурента в виде автотранспорта). Последователь выбирает свою стратегию, зная стратегию лидера. Стратегией последователя есть цены на перевозки по каждому из направлений и соответствующие объемы перевозок. Лидер при выборе своей оптимальной стратегии учитывает оптимальную стратегию последователя.

Ключевые слова: *пассажирские перевозки, оптимизация, математическая модель, рельсовый автобус.*

In this paper, a mathematical model for optimizing the activity of a large transport hub is proposed. The proposed model takes into account only passenger transportation. The goal of optimization is to determine: the number of rail buses assigned to the node; Optimal tariffs for transportation; Distribution of transport units in directions depending on the random demand for transportation. The possibility of attracting additional transport units in case of inadequate own transport is taken into account. The model takes into account the impact of competitive motor transport.

The proposed mathematical model is based on a two-stage two-level stochastic programming problem with a quantile criterion. This formulation of the problem takes into account several known approaches to modeling complex economic relations.

The decision-making process in this model has a two-stage structure. To simulate the two-stage structure of decision-making, a two-stage problem of stochastic linear programming is used. The strategy of the first stage is the number of rail buses assigned to the node, and tariffs for transportation in each direction. At the second stage, the rail buses are distributed along the directions in the transport hub, depending on the realization of the random demand for transportation.

In this case, there is the possibility of attracting for an additional fee rail buses, not assigned to the node. Rail buses serve both the directions of the transport hub and the directions from other transport nodes to the node that is being considered. So, the strategy of the second stage is the number of own rail buses allocated for transportation in each direction, and the number of additional provided rail buses in each direction.

The strategy of the first stage is determined for several planned periods. In each of the planned periods, the strategy of the second stage is selected anew, depending on the implementation of random demand and the chosen strategy of the first stage.

To take into account the influence of the competitor, a two-level task is used. It assumes the participation of two players in the market: the leader (transport hub) and the follower (competitor in the form of vehicles). The follower chooses his strategy, knowing the strategy of the leader. The follower strategy is the prices for transportation in each direction and the corresponding volumes of traffic. The leader in choosing his optimal strategy takes into account the optimal strategy of the follower.

Key words: *passenger transportation, optimization, mathematical model, rail bus.*

Вступ. Тенденції сьогодення на ринку транспортних послуг з перевезення пасажирів призводять до зменшення ролі залізничного та підвищення значення автомобільного й повітряного транспорту. Існує необхідність здійснювати заходи з підвищення привабливості перевезень пасажирів залізничного транспорту. Такі заходи дають можливість галузі залізничного транспорту зберегти і ефективно використовувати існуючий технічний потенціал для здійснення структурних технологічних змін і збереження конкурентних переваг перед іншими видами транспорту.

Розподіл пасажиропотоків у крупних транспортних вузлах і визначення технічного потенціалу для його реалізації має велике значення. Особливо актуальною ця проблематика є при наявності декількох конкурентних видів транспорту. Транспортна система повинна бути гнучкою в реалізації потреб населення в перевезеннях. При цьому повинно бути забезпечено також і ефективне використання ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у розвиток теорії ефективної організації пасажирських перевезень у залізничних вузлах зробили такі вчені: Н. І. Бєщєва, Т. В. Бутько, П. С. Грунтов, Ф. П. Кочнєв, В. Я. Негрей, О. М. Огар, М. Я. Стефанов, М. В. Правдін, А. В. Прохорченко, М. П. Іхненко, Ю. О. Пазойський та ін. [1, 2].

Існуючі методи визначення величини пасажиропотоку та розмірів руху пасажирських поїздів, розроблені вищеназваними авторами, були в основному спрямовані для поїздів звичайних магістралей залізниць. Вимогам надійності перевізного процесу та гнучкості його реалізації для сучасних ринкових умов уваги значно не приділялось.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою даних досліджень є підвищення якості функціонування крупних транспортних вузлів шляхом організації пасажирських перевезень. Одним із відповідних заходів є розроблення моделі їх оптимізації при використанні рейкових автобусів.

Основна частина дослідження. Задачі оптимізації та управління складними економічними системами є предметом вивчення ряду суміжних математичних дисциплін. Практична реалізація логістичних технологій у транспортних системах повинна передбачати обов'язково урахування динаміки в прийнятті рішень, оскільки під час реалізації рішень можливі зміни певного характеру (зміна попиту, цін та ін.). При цьому виникає необхідність урахування впливу на систему випадкових факторів і підвищення вимог до забезпечення високого рівня надійності досягнення бажаного результату при реалізації стратегії. З іншого боку, при прийнятті рішення необхідно враховувати інтереси різних суб'єктів на всіх рівнях функціонування системи.

Облік динаміки при прийнятті рішення можна здійснити за допомогою двохетапних задач стохастичного програмування, у яких стратегія другого етапу дозволяє коректувати вихідну стратегію за фактом виникнення реалізації випадкових параметрів, що діють на систему [2]. Традиційно двохетапні задачі формулюються з критеріальною функцією у формі математичного очікування. Критеріальна функція у формі математичного очікування дозволяє отримувати стратегію, що забезпечує високий прибуток у середньому. Але при моделюванні складних систем необхідно враховувати вимоги надійності. Для цього може бути використана критеріальна функція у формі квантиля, що дозволяє отримувати результат з заданою імовірністю [3].

Вперше двохетапна задача квантильної оптимізації була сформульована в роботі [4]. Математичні моделі економічних систем, які засновані на двохетапній задачі квантильної оптимізації, описані в роботах [5, 6, 7]. Через складність постановок, що розглядаються, точні розв'язки цих задач вдається отримати тільки в деяких випадках.

Врахування інтересів різних суб'єктів вимагає розгляду ігрових моделей. Моделювання конкуренції можливе за допомогою дворівневих задач [8, 9]. Дворівневі задачі в стохастичній постановці формулюються в основному з критеріальною функцією у формі математичного очікування [10].

У роботі пропонується математична модель оптимізації діяльності крупного транспортного вузла, в якій враховуються тільки пасажирські перевезення. Метою оптимізації є визначення кількості рейкових автобусів, що приписані до вузла; оптимальних тарифів на перевезення; розподіл транспортних одиниць за напрямками залежно від випадкового попиту на перевезення. Враховується можливість залучення додаткових транспортних одиниць у випадку недостатності власних. У моделі враховано вплив конкурентного автомобільного транспорту.

Запропонована математична модель заснована на двохетапній дворівневій задачі стохастичного програмування з квантильним критерієм. Дана постановка задачі враховує в собі декілька відомих підходів до моделювання складних економічних відносин.

Процес прийняття рішень у даній моделі має двохетапну структуру. Для моделювання двохетапності структури прийняття рішення використовується двохетапна задача стохастичного лінійного програмування. Стратегією першого етапу є кількість рейкових автобусів, що приписані до вузла, і тарифи на перевезення по кожному з напрямків. На другому етапі рейкові автобуси розподіляються за напрямками у транспортному вузлі залежно від реалізації випадкового попиту на перевезення.

При цьому існує можливість залучення за додаткову плату рейкових автобусів, що не приписані до вузла. Рейкові автобуси обслуговують як напрямки з транспортного вузла, так і напрямки з інших транспортних вузлів у вузол, що розглядається. Отже, стратегією другого етапу є кількість власних рейкових автобусів, виділених для перевезень по кожному з напрямків, і кількість додатково наданих рейкових автобусів на кожному з напрямків.

Стратегія першого етапу визначається на декілька планових періодів. У кожному з планових періодів стратегія другого етапу обирається заново залежно від реалізації випадкового попиту та обраної стратегії першого етапу.

Для урахування впливу конкурента використовується дворівнева задача. Передбачається участь на ринку двох гравців: лідера (транспортного вузла) і послідовника (конкурента у вигляді автотранспорту). Послідовник обирає свою стратегію, знаючи стратегію лідера. Стратегією послідовника є ціни на перевезення по кожному з напрямків і відповідні обсяги перевезень. Лідер при виборі своєї оптимальної стратегії враховує оптимальну стратегію послідовника.

Постановка задачі. Надано до розгляду крупний транспортний вузол, що обслуговує n напрямків. Ці напрямки відповідають іншим транспортним вузлам. Стратегією першого етапу є вектор $u \overset{\Delta}{=} (u_1, u_1 \ldots, u_n)^T$, де $u_i \in R$ – тариф на перевезення одного пасажира на i-му напрямку, і величина $u_0 \in Z$ – кількість рейкових автобусів, що обслуговуються в депо розглядуваного транспортного вузла.

Відомі витрати c на утримання рейкового автобуса протягом одного планового періоду.

Нехай $\overrightarrow{X_i}$ – попит на перевезення з даного вузла в напрямку до i-го транспортного вузла протягом планового періоду; $\overleftarrow{X_i}$ – попит на перевезення з i-го вузла в напрямку даного транспортного вузла протягом планового періоду, $i = \overline{1, n}$. Відповідні реалізації попиту будемо позначати $\overrightarrow{x_i}$ та $\overleftarrow{x_i}$. Будемо вважати, що попит вимірюється в кількості пасажирів.

Введемо позначення

$$X \overset{\Delta}{=} \left(\overrightarrow{X_1}, \overrightarrow{X_2}, \ldots, \overrightarrow{X_n}, \overleftarrow{X_1}, \overleftarrow{X_2}, \ldots, \overleftarrow{X_n}\right)^T,$$

$$x \overset{\Delta}{=} \left(\overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{x_2}, \ldots, \overrightarrow{x_n}, \overleftarrow{x_1}, \overleftarrow{x_2}, \ldots, \overleftarrow{x_n}\right)^T.$$

Для кожного напрямку відомий максимально можливий тариф $\overline{u}_i$ на перевезення одного пасажира, $i=\overline{1,n}$. Дані величини регулюються антимонопольним комітетом. Позначимо $\overline{u} \stackrel{\Delta}{=} \left(\overline{u_1}, \overline{u_1} \ldots, \overline{u_n}\right)^T$. Також відомо максимально можлива кількість рейкових автобусів (інвентарний парк) $\overline{u}_o$.

Дохід транспортного вузла, який взято з протилежним знаком (витрати), є оптимальним значенням критеріальної функції $\Phi(u_0, u, x)$ задачі другого типу.

Розглянемо функцію квантиля оптимального значення критеріальної функції задачі другого етапу

$$\Phi_\alpha(u_0, u) \stackrel{\Delta}{=} \min\{\varphi : P\{\Phi(u_0, u, X) \le \varphi\} \ge \alpha\}, \tag{1}$$

де $P\{\Phi(u_0, u, X) \le \varphi\}$ – імовірнісна міра, породжена розподілом випадкового вектора *X*.

Задача першого етапу формулюється у вигляді

$$cu_0 + \Phi_\alpha(u_0, u) \to \min_{u_0, u} \tag{2}$$

при обмеженнях

$$0 \le u_i \le \overline{u_i}, \; i = \overline{0, n}. \tag{3}$$

Позначимо оптимальний розв'язок задачі першого етапу (u_0^*, u^*).

Критеріальна функція (2) є сумою витрат на утримання рейкових автобусів і втрат, що пов'язані з реалізацією стратегії другого етапу і не можуть бути перебільшені з імовірністю *α*. Таким чином, критеріальна функція (2) являє собою мінімальні втрати, які не можуть бути перебільшені з імовірністю *α*.

Стратегією другого етапу є вектор

$$y \stackrel{\Delta}{=} \left(\overrightarrow{y_1^T}, \overleftarrow{y_1^T}, \overrightarrow{y_2^T}, \overleftarrow{y_2^T}\right)^T \in Z^{4n}, \overrightarrow{y_1}, \overleftarrow{y_1}, \overrightarrow{y_2}, \overleftarrow{y_2} \in Z^n,$$

де $\overrightarrow{y_{1i}}$ – кількість рейкових автобусів, задіяних у перевезеннях з вузла, що розглядається, у напрямку *i*-го вузла;

$\overleftarrow{y_{1i}}$ – кількість рейкових автобусів, задіяних у перевезеннях з *i*-го вузла до вузла, що розглядається;

$\overrightarrow{y_{2i}}$ – кількість рейкових автобусів, додатково задіяних у перевезеннях з вузла, що розглядається, у напрямку *i*-го вузла;

$\overleftarrow{y_{2i}}$ – кількість рейкових автобусів, додатково задіяних у перевезеннях з *i*-го вузла до вузла, що розглядається.

Відомі такі величини: S_i^t – собівартість перевезень пасажирського поїзда (рейкового автобуса) в *i*-му напрямку (напрямок до *i*-го транспортного вузла та назад); d_i – вартість залучення додаткового рейкового автобуса на *i*-й напрямок; $\overline{S_i^t}$ – собівартість руху рейкового автобуса без пасажирів в *i*-му напрямку; m – кількість пасажирів, що перевозяться одним рейковим автобусом; β – коефіцієнт, що враховує перевагу пасажирів при виборі виду транспорту. Якщо $\beta > 1$, то у випадку рівнозначних тарифів на перевезення пасажир надає перевагу залізниці, при $0<\beta\le 1$ – автомобільному транспорту.

Нехай $\overrightarrow{z_{1i}^{*}}$ – оптимальний обсяг перевезень пасажирів з даного вузла до i-го транспортного вузла послідовником; $\overleftarrow{z_{1i}^{*}}$ – оптимальний обсяг перевезень пасажирів з i-го транспортного вузла в напрямку даного вузла; z_{2i}^{*} – оптимальна ціна на перевезення одного пасажира в i-му напрямку автотранспортом.

Введемо позначення

$$z_1^* \overset{\Delta}{=} \left(\overrightarrow{z_{11}^*}, \overrightarrow{z_{12}^*}, \ldots, \overrightarrow{z_{1n}^*}, \overleftarrow{z_{11}^*}, \overleftarrow{z_{12}^*}, \ldots, \overleftarrow{z_{1n}^*}\right)^T,$$

$$z_2^* \overset{\Delta}{=} \left(z_{21}^*, z_{22}^*, \ldots, z_{2n}^*\right)^T.$$

Множину оптимальних стратегій $\left(z_1^*, z_2^*\right)$ послідовника позначимо $Z(u, y, x)$. Дана множина залежить від стратегії лідера, реалізації випадкового попиту і визначається шляхом розв'язання задачі послідовника.

Сформулюємо задачу другого етапу в оптимістичній постановці [9]

$$\Phi(u_0, u, x) \overset{\Delta}{=} \min_{y} \min_{\left(z_1^*, z_2^*\right) \in Z(u,y,x)} \sum_{i=1}^{n} \left(\begin{aligned} &\left(S_i^t - m u_i\right)\left(\overrightarrow{y_{1i}} + \overleftarrow{y_{1i}} + \overrightarrow{y_{2i}} + \overleftarrow{y_{2i}}\right) + \\ &+ d_i\left(\overrightarrow{y_{2i}} + \overleftarrow{y_{2i}}\right) + \overline{S_i^t}\left|\overrightarrow{y_{1i}} - \overleftarrow{y_{1i}}\right| \end{aligned} \right) \tag{4}$$

при обмеженнях

$$\sum_{i=1}^{n} \max\left(\overrightarrow{y_{1i}}, \ \overleftarrow{y_{1i}}\right) \le u_0; \tag{5}$$

$$m\left(\overrightarrow{y_{1i}} + \overrightarrow{y_{2i}}\right) \le \overrightarrow{x_i}, \ i = \overline{1, n}; \tag{6}$$

$$m\left(\overleftarrow{y_{1i}} + \overleftarrow{y_{2i}}\right) \le \overleftarrow{x_i}, \ i = \overline{1, n}; \tag{7}$$

$$m\left(\overrightarrow{y_{1i}} + \overrightarrow{y_{2i}}\right) \le \overrightarrow{x_i} - \overrightarrow{z_{1i}^*}, \text{если } u_i \ge \beta\, z_{2i}^*, \ i = \overline{1, n}; \tag{8}$$

$$m\left(\overleftarrow{y_{1i}} + \overleftarrow{y_{2i}}\right) \le \overleftarrow{x_i} - \overleftarrow{z_{1i}^*}, \text{если } u_i \ge \beta\, z_{2i}^*, \ i = \overline{1, n}; \tag{9}$$

$$\overrightarrow{y_{li}} \ge 0, \ \overleftarrow{y_{li}} \ge 0, \ l = 1, 2; \ \ i = \overline{1, n}. \tag{10}$$

Дана задача другого етапу для лідера сформульована в оптимістичній постановці. Це означає, що у випадку, якщо для послідовника декілька стратегій є рівноцінними, він обирає з них ту, яка є найбільш сприятливою для лідера. Можливий варіант розгляду песимістичної постановки. У цьому випадку лідер враховує найгіршу для себе оптимальну стратегію послідовника.

Критеріальна функція задачі другого етапу для лідера являє собою суму втрат за всіма напрямками. Для кожного з напрямків втрати являють собою суму трьох складових: перша складова $\left(S_i^t - mu_i\right)\left(\overrightarrow{y_{1i}} + \overleftarrow{y_{1i}} + \overrightarrow{y_{2i}} + \overleftarrow{y_{2i}}\right)$ є доходом від перевезень, взятим з протилежним знаком; друга складова $d_i\left(\overrightarrow{y_{2i}} + \overleftarrow{y_{2i}}\right)$ є витратами на залучення додаткових рейкових автобусів; третя складова $\overline{S_i^t}\left|\overrightarrow{y_{1i}} - \overleftarrow{y_{1i}}\right|$ являє собою витрати на перевезення рейкових автобусів без пасажирів.

Умова (5) обмежує кількість власних рейкових автобусів даного вузла величиною u_0, що є стратегією першого етапу. Обмеження (6), (7) означають, що обсяг перевезень не може перевищувати попит на них. Обмеження (8), (9) означають, що у випадку більш вигідної цінової політики послідовника обсяг перевезень лідера не може перевищувати попит, який залишився після перевезень послідовником.

Стратегією послідовника є змінні

$$z_1 \stackrel{\Delta}{=} \left(\overrightarrow{z_{11}}, \overrightarrow{z_{12}}, \ldots, \overrightarrow{z_{1n}}, \overleftarrow{z_{11}}, \overleftarrow{z_{12}}, \ldots, \overleftarrow{z_{1n}}\right)^T,$$

$$z_2 \stackrel{\Delta}{=} \left(z_{21}, z_{22}, \ldots, z_{2n}\right)^T.$$

де $\overrightarrow{z_{1i}}$ – обсяг перевезень автомобільним транспортом з даного транспортного вузла по i-му напрямку, пас.; $\overleftarrow{z_{1i}}$ – обсяг перевезень автомобільним транспортом з i-го транспортного вузла в даний вузол, пас.; z_{2i} – тариф на перевезення одного пасажира автомобільним транспортом в i-му напрямку.

Відомі величини $\overline{z_1}$ – максимальна кількість пасажирів, яку може перевезти конкурент; S_i^a – собівартість перевезень одного пасажира в i-му напрямку автотранспортом; $\overline{S_i^a}$ – вартість перевезень порожнього транспорту, здатного перевезти одного пасажира в i-му напрямку.

Задача послідовника формулюється як

$$Z(u, y, x) \stackrel{\Delta}{=} \operatorname*{Arg\,min}_{z_1, z_2} \sum_{i=1}^{n} \left(\left(S_i^a - z_{2i}\right)\left(\overrightarrow{z_{1i}} + \overleftarrow{z_{1i}} + \overrightarrow{y_{2i}} + \overleftarrow{y_{2i}}\right) + \overline{S_i^a}\left|\overrightarrow{z_{1i}} - \overleftarrow{z_{1i}}\right| \right) \tag{11}$$

при обмеженнях

$$\sum_{i=1}^{n} \max\left(\overrightarrow{z_{1i}},\ \overleftarrow{z_{1i}}\right) \le \overline{z_1}; \qquad (12)$$

$$0 \le z_{2i} \le \overline{u_i},\ i = \overline{1,n}; \qquad (13)$$

$$\overrightarrow{z_{1i}} \le \overrightarrow{x_i},\ i = \overline{1,n}; \qquad (14)$$

$$\overleftarrow{z_{1i}} \le \overleftarrow{x_{1i}},\ i = \overline{1,n}; \qquad (15)$$

$$\overrightarrow{\mathrm{z}_{1\mathrm{i}}} \le \overrightarrow{x_i} - m\left(\overrightarrow{y_{1i}} + \overrightarrow{y_{2i}}\right), \text{если } \beta\, z_{2i} > u_i,\ i = \overline{1,n}; \qquad (16)$$

$$\overleftarrow{\mathrm{z}_{1\mathrm{i}}} \le \overleftarrow{x_i} - m\left(\overleftarrow{y_{1i}} + \overleftarrow{y_{2i}}\right), \text{если } \beta\, z_{2i} > u_i,\ i = \overline{1,n}; \qquad (17)$$

$$\overrightarrow{y_{li}} \ge 0,\ \overleftarrow{y_{li}} \ge 0,\ l = 1, 2;\ \ i = \overline{1,n}. \qquad (18)$$

Критеріальна функція (11) являє собою суму втрат послідовника за всіма напрямками. Для кожного з напрямків втрати є сумою двох складових: перша складова $\left(S_i^a - z_{2i}\right)\left(\overrightarrow{z_{1i}} + \overleftarrow{z_{1i}} + \overrightarrow{y_{2i}} + \overleftarrow{y_{2i}}\right)$ є доходом від перевезень, який взято з протилежним знаком, друга складова $\overline{S_i^a}\left|\overrightarrow{z_{1i}} - \overleftarrow{z_{1i}}\right|$ – витрати на перевезення порожнього транспорту.

Обмеження (12) пов'язано з наявною кількістю транспортних засобів. Вимога (13) обмежує тарифи величиною, яка погоджується з антимонопольним комітетом. Обмеження (14), (15) означають, що у випадку більш вигідної цінової політики лідера обсяг перевезень послідовника не може перевищувати величину попиту, яка залишається після перевезення лідером.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. У даній роботі представлено модель оптимізації діяльності залізничного транспорту при організації пасажирських перевезень у крупному транспортному вузлі з використанням рейкових автобусів.

Запропоновано математичну модель, засновану на двохетапній дворівневій задачі стохастичного програмування з квантильним критерієм.

При оптимізаційних розрахунках визначають кількість рейкових автобусів, що приписані до вузла; оптимальні тарифи на перевезення; кількість транспортних одиниць за напрямками залежно від випадкового попиту на перевезення. Враховується можливість залучення додаткових транспортних одиниць у випадку недостатності власних. У моделі враховано вплив конкурентного транспорту (автомобільного).

Розв'язання даної задачі в загальному вигляді потребує залучення методів статистичного моделювання та нелінійного програмування.

Список використаних джерел

1. Розсоха, О. В. Моделювання пасажирських поїздопотоків високошвидкісних залізничних магістралей [Текст] / О.В. Розсоха, В.М. Солонець // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 5–13.

2. Birge J., Louveaux F. Introduction to Stochastic Programming. – New York: Springler-Verlag, 1997. – 510 p.

3. Кибзун, А. И. Задачи стохастического программирования с вероятностными критериями [Текст] / А.И. Кибзун, Ю.С. Кан. – М. : Физматлит, 2009. – 372 с.

4. Кибзун, А. И. Двухэтапные задачи квантильного линейного программирования [Текст] / А.И. Кибзун, А.В. Наумов // Автоматика и телемеханика. – 1995. – № 1. – С. 83-93.

5. Наумов, А. В. Двухэтапная задача квантильной оптимизации бюджета госпиталя [Текст] / А.В. Наумов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 1996. – № 2. – С. 87-90.

6. Наумов, А. В. Двухэтапная задача квантильной оптимизации инвестиционного проекта [Текст] / А.В. Наумов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2010. – № 2. – С. 33-40.

7. Наумов, А. В. Решение двухэтапной задачи логистики в квантильной постановке [Текст] / А.В. Наумов, А.Б. Богданов // Автоматика и телемеханика. – 2006. – № 12. – С. 36-42.

8. Bard J. Practical Bilevel Optimization: Algoritms and Applications. – New York: Springler-Verlag, 1999. – 488 p.

9. Dempe S. Foundations of Bilevel programming. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. – 312 p.

10. Werner A.S. Bilevel Stochastic programming problems: analysis and application to telecommunications: Dr. ing. thesis // Section of Investment, Finance and Accounting, Dept of Industrial Economics and Technology Management, Nust, Norway, 2004. – 165 p.

Розсоха Олександр Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: s4749@ukr.net.
Шаповал Ганна Василівна, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.
Боков Андрій Вікторович, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. enzor@i.ua.
Щербинін Руслан Олегович, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. 93.ruslan@inbox.ru.

Rozsokha Olexandr, Associate Professor, Doctor of Science (Ph.D.), Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: s4749@ukr.net.
Shapoval Ganna, Associate Professor, Doctor of Science (Ph.D.), Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.
Bokov Andrii, magistrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: enzor@i.ua.
Shcherbynin Ruslan, magistrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: ruslan@inbox.ru.

Стаття прийнята 26.04.2017 р.