

ТРАНСПОРТ

УДК 656.132

В.В. Аулін, к.ф.-м.н., проф.
Д.В. Голуб, аспір.

Кіровоградський національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ЗАСОБІВ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ З УРАХУВАННЯМ ПОПИТУ ПАСАЖИРІВ

*Розроблено математичну модель вибору раціональної кількості засобів міського
пасажирського транспорту різних типів з урахуванням попиту пасажирів.*

Вступ. Одним з найважливіших питань освоєння пасажиропотоків в міському сполученні є раціональний розподіл парку міського пасажирського транспорту (МПТ) на маршрутах з урахуванням задоволення попиту пасажирів на засоби транспорту (ЗТ) різних типів [1].

Обмеження по освоєнню пасажиропотоків пов'язані з існуючим парком ЗТ, частотою їх руху та пропускною спроможністю вулиць і зупинних пунктів.

Задача розрахунку раціональної кількості засобів міського пасажирського транспорту (ЗМПТ) різних типів на маршрутах полягає в тому, щоб кількість місць в різних типах ЗТ відповідала пасажиропотоку на них.

Суттєвий вплив на розрахунок кількості ЗМПТ здійснюють показники: доходи, отримані за перевезення пасажирів; витрати по їх освоєнню; попит пасажирів на типи ЗМПТ; місткість ЗТ; пропускна спроможність вулиць і зупинних пунктів.

Як показують дослідження [2], в існуючих методиках розрахунку раціональної кількості рухомого складу основним критерієм для визначення маршрутів проходження ЗМПТ є час знаходження пасажирів в дорозі, тобто кореспонденції пасажиропотоків спрямовані по найкоротшому за часом шляху проходження. Разом з тим, в сучасних умовах, у зв'язку з існуючим вибором типів ЗМПТ, даний критерій не є єдиним. Для кожного пасажирів, що очікує ЗТ на зупинному пункті, існують свої критерії: вартість проїзду, рівень комфорту, безпека, час очікування тощо.

Метою даної роботи є розробка математичної моделі вибору раціональної кількості засобів міського пасажирського транспорту різних типів з урахуванням попиту пасажирів.

Виклад основного матеріалу. Відомо, що дані про пасажиропотік на ділянках характеризують маршрути проходження ЗМПТ, що фактично склалися, а також систему організації перевезень в цілому. За календарний період на цих ділянках з урахуванням попиту на місця в різних типах ЗМПТ p -ого маршруту обсяг пасажиропотоку дорівнює:

$$\Pi_i^n = \sum_{j=1}^d \sum_{p=1}^p \delta_{ip}^n \cdot \Pi_{jip}^n \quad (1)$$

де $\delta_{ip}^n = 1$, якщо i -ий тип ЗМПТ p -ого маршруту слідує по n -ій ділянці, а в протилежному випадку випадку $\delta_{ip}^n = 0$;

Π_{jip}^n – пасажиропотік j -ої типологічної групи i -го типу ЗМПТ p -ого маршруту на n -ій ділянці за календарний період.

Згідно з функцією попиту пасажиропотік j -ої типологічної групи на n -ій ділянці p -ого маршруту за календарний період складе:

$$\Pi_{jip}^n = \beta_{ji} \cdot \Pi_{jp}^n, \quad \beta_{ji} = \frac{y_{ji}}{\sum_{i=1}^a y_{ji}} \quad (2)$$

де β_{ji} – частка поїздок пасажирів i -м типом ЗМПТ.

Зазначимо, що сегментація пасажиропотоків за попитом на місця в ЗТ різних типів необхідна для поліпшення якості послуг, що надаються МПТ, а також на етапі розрахунку раціональної кількості ЗМПТ різних типів на маршрутах з урахуванням попиту пасажирів.

За критерій обґрунтування раціональної кількості ЗТ різних типів приймаємо попит пасажирів різних типологічних груп на кожний тип ЗМПТ.

Побудуємо модель раціональної кількості ЗМПТ різних типів, який би забезпечував повне освоєння пасажиропотоків по кожному типу МПТ з урахуванням попиту пасажирів, а також пропускної спроможності вулиць і зупинних пунктів.

Вважаючи, що x_{ip}^n – кількість ЗТ i -го типу p -ого маршруту, що працюють на n -ій ділянці, тобто $x_{ip}^n \geq 0$, $i = \overline{1, a}$, цільова функція, що враховує попит пасажирів на типи ЗМПТ, дає можливість мінімізувати сумарний пробіг порожніх місць і матиме вигляд:

$$\Phi = \sum_{n=1}^N \left(\sum_{p=1}^P \delta_{1p}^n \cdot m_1 \cdot n_{p1} \cdot \gamma_1 \cdot x_{1p}^n - \Pi_1^n + \dots + \sum_{p=1}^P \delta_{ip}^n \cdot m_i \cdot n_{pi} \cdot \gamma_i \cdot x_{ip}^n - \Pi_i^n + \dots + \sum_{p=1}^P \delta_{ap}^n \cdot m_a \cdot n_{pa} \cdot \gamma_a \cdot x_{ap}^n - \Pi_a^n \right). \quad (3)$$

Після деяких перетворень (4) маємо:

$$\Phi = \sum_{n=1}^N \left(\sum_{p=1}^P \delta_{1p}^n \cdot m_1 \cdot n_{p1} \cdot \gamma_1 \cdot x_{1p}^n + \dots + \sum_{p=1}^P \delta_{ip}^n \cdot m_i \cdot n_{pi} \cdot \gamma_i \cdot x_{ip}^n + \dots + \sum_{p=1}^P \delta_{ap}^n \cdot m_a \cdot n_{pa} \cdot \gamma_a \cdot x_{ap}^n - \Pi^n \right) \rightarrow \min. \quad (4)$$

При цьому система обмежень на попит пасажирів має наступний вигляд:

$$\begin{cases} \sum_{p=1}^P \delta_{1p}^n \cdot m_1 \cdot n_{p1} \cdot \gamma_1 \cdot x_{1p}^n \geq \Pi_1^n; \\ \sum_{p=1}^P \delta_{ip}^n \cdot m_i \cdot n_{pi} \cdot \gamma_i \cdot x_{ip}^n \geq \Pi_i^n; \\ \sum_{p=1}^P \delta_{ap}^n \cdot m_a \cdot n_{pa} \cdot \gamma_a \cdot x_{ap}^n \geq \Pi_a^n, \end{cases} \quad (5)$$

де m_i – місткість i -го типу ЗМПТ, пас., $i = 1, \dots, a$; n_{pi} – кількість рейсів i -го типу ЗТ за певний інтервал часу; γ_i – коефіцієнт використання місткості i -го типу МПТ; Π_i^n – попит пасажирів на i -ий тип ЗМПТ; Π^n – сукупний попит пасажирів на всі типи ЗМПТ на n -ій ділянці, $\Pi^n = \sum_{i=1}^a \Pi_i^n$.

Система обмежень на обіг зупинних пунктів і пропускну спроможність вулиць подається нерівностями:

$$\begin{cases} \sum_{p=1}^P \delta_{1p}^n \cdot x_{1p}^n \geq x_{1p}^{(\min)}; \\ \dots \\ \sum_{p=1}^P \delta_{ip}^n \cdot x_{ip}^n \geq x_{ip}^{(\min)}; \\ \dots \\ \sum_{p=1}^P \delta_{ap}^n \cdot x_{ap}^n \geq x_{ap}^{(\min)}, \end{cases} \quad (6)$$

де $x_{ip}^{(\min)}$ – мінімальна кількість рухомого складу i -го типу МПТ p -ого маршруту,

$$x_{ip}^{(\min)} = \frac{60 \cdot L^n}{V_i^n \cdot J_{ip}^{n(\max)}}, \quad (7)$$

L^n – довжина ділянки, км;

V_i^n – середня швидкість руху i -го типу МПТ на n -ій ділянці, км/ч;

$J_{ip}^{n(\max)}$ – інтервал руху i -го типу МПТ p -ого маршруту на n -ій ділянці, хв.

Зазначимо, що цільова функція (4) і системи обмежень (5, 6) є математичною моделлю розподілу засобів міського пасажирського транспорту з урахуванням попиту пасажирів, побудованої на основі лінійного програмування [3].

При цьому можливі ситуації, коли кінцевий зупинний пункт певної ділянки є початковим зупинним пунктом не однієї ділянки, а декількох, тобто відбувається так зване розгалуження ділянок.

В такому випадку маємо: $x_{ip}^n = \sum_{w=1}^S x_{ip}^{n+w}$, де w – кількість ділянок, на які відгалужується n -на ділянка ($w = 1...S$).

Використання побудованої моделі дозволяє значно скоротити витрати на перевезення пасажирів.

Розглядаючи проблему перевезення пасажирів МПТ, перш за все слід зазначити найповніше задоволення попиту на проїзд в різних типах ЗТ.

Існують різні методики для розрахунку раціональної кількості рухомого складу при максимальному задоволенні попиту на категорії місць [4, 5], але при цьому не враховуються витрати, пов'язані з перевезенням пасажирів різними типами рухомого складу.

Задача визначення кількості ЗМПТ різних типів полягає в мінімізації відхилень вартості існуючих місць в ЗТ різних типів від величини доходу, отриманого за перевезення за умови освоєння заданого обсягу пасажиропотоку.

Враховуючи систему обмежень, мінімізують суму квадратів відхилень вартості запропонованих місць від величини доходу за перевезення пасажирів залежно від попиту на місця в ЗМПТ різних типів, тим самим максимально наближають запропоновані категорії місць до попиту на них:

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^a \left(\sum_{p=1}^P (\delta_{ip}^n \cdot m_i \cdot n_{pi} \cdot \gamma_i \cdot x_{ip}^n - \Pi_i^n)^2 \cdot c_{ip}^2 \right) \rightarrow \min, \quad (8)$$

де c_{ip} – вартість проїзду в ЗМПТ i -го типу p -ого маршруту.

Поставлена задача є задачею квадратичного програмування, яка розв'язується методом Лагранжа. При цьому Функція Лагранжа має вигляд:

$$\begin{aligned} F = & \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^a \left(\sum_{p=1}^P (\delta_{ip}^n \cdot m_i \cdot n_{pi} \cdot \gamma_i \cdot x_{ip}^n - \Pi_i^n)^2 \cdot c_{ip}^2 - \right. \\ & \sum_{n=1}^N \lambda^n \left(\sum_{p=1}^P \delta_{ip}^n \cdot m_i \cdot n_{pi} \cdot \gamma_i \cdot x_{ip}^n - \Pi_i^n \right) - \\ & \left. - \sum_{n=1}^N \lambda^n \left(\sum_{n=1}^N \delta_{ip}^n \cdot x_{ip}^n - \frac{60 \cdot L^n}{V_i^n \cdot J_{ip}^{n(\max)}} \right) \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Розв'язок задачі отримують з системи характеристичних рівнянь, яка отримується, прирівнюючи до нуля частинні похідні від функцій Лагранжа по змінних x_{ip}^n , λ^n , μ^n :

$$\begin{cases} \sum_{n=1}^N \left(\sum_{i=1}^a \sum_{i=1}^a 2\delta_{ip}^n \cdot m_i \cdot n_{pi} \cdot \gamma_i \left[\delta_{ip}^n \cdot m_i \cdot n_{pi} \cdot \gamma_i \cdot x_{ip}^n - \Pi_i^n - \lambda^n \right] - \mu^n \cdot x_{ip}^n \right) = 0; \\ \sum_{p=1}^P \delta_{ip}^n \cdot m_i \cdot n_{pi} \cdot \gamma_i \cdot x_{ip}^n - \Pi_i^n = 0; \\ \sum_{n=1}^N \delta_{ip}^n \cdot x_{ip}^n - \frac{60 \cdot L^n}{V_i^n \cdot J_{ip}^{n(\max)}} = 0. \end{cases} \quad (10)$$

З системи рівнянь, враховуючи дані процесу перевезень пасажирів, отримують значення x_{ip}^n кількості рухомого складу існуючих типів МПТ для кожного маршруту з умови:

$$x_{ip} = \max_n(x_{ip}). \quad (11)$$

Висновки. На основі методів лінійного математичного програмування побудована математична модель пасажиропотоку з мінімізацією сумарного пробігу порожніх місць ЗМПТ. Розроблена модель і її розв'язок дозволяють проводити розрахунок раціональної кількості ЗМПТ різних типів на маршрутах з урахуванням витрат на перевезення пасажирів і найбільшою відповідністю попиту і пропозиції на місця в різних типах МПТ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку: Монографія / Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут / За заг. ред. А.М. Редзюка. — К.: ДП "ДержавтотрансНДІпроект", 2005. — 400 с.
2. Антошвили М.Е., Либерман С.Ю., Спирин И.В. Оптимизация городских автобусных перевозок. — М.: Транспорт, 1985. — 102 с.
3. Гилл Ф. Практическая оптимизация / Ф.Гилл, У.Мюррей, М.Райт / Под ред. А.А. Петровой. — М.: Мир, 1985. — 340 с.
4. Глазков Д.В. Расчет числа и назначений поездов в дальнем и местном сообщении в зависимости от структуры пассажиропотока: Автореферат дисс... канд. техн. наук: 05.22.08. — М.: РГОТУПС, 2005. — 18 с.
5. Панова О.Н. План формирования пассажирских поездов при условии удовлетворения спроса на категории мест: Автореферат дисс... канд. техн. наук: 05.22.08 / О.Н. Панова. — М.: МИИТ, 2001. — 24 с.

АУЛІН Віктор Васильович – кандидат фізико-математичних наук, професор кафедри експлуатації та ремонту машин Кіровоградського національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- автомобільний транспорт;
- логістика.

ГОЛУБ Дмитро Вадимович – аспірант Кіровоградського національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- автомобільний транспорт;
- логістика.

Тел.: 8-0522-39-04-73, 8-066-516-80-74.

e-mail: dimchik_2004@mail.ru

Подано 07.06.2008