

УДК .001.57:51:656.025.2

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИБОРУ РУХОМОГО СКЛАДУ ДЛЯ ПАСАЖИРСЬКИХ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

М.В. Костікова, доц., к.т.н., І.В. Скрипіна, ст. викл.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Викладено два напрями вирішення задачі вибору типу рухомого складу. Описуються розроблені математичні моделі організації пасажирських автобусних перевезень, які дозволяють отримати значний додатковий прибуток. Подано рекомендації щодо практичного застосування побудованих моделей.

Ключові слова: математична модель, пасажирські перевезення, ефективність, рухомий склад, обмеження.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ПАССАЖИРСКИХ АВТОБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК

М.В. Костикова, доц., к.т.н., И.В. Скрипина, ст. преп.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Изложены два направления решения задачи выбора типа подвижного состава. Описываются разработанные математические модели организации пассажирских автобусных перевозок, которые позволяют получить значительную дополнительную прибыль. Даются рекомендации по практическому применению построенных моделей.

Ключевые слова: математическая модель, пассажирские перевозки, эффективность, подвижной состав, ограничения.

THE MATHEMATICAL MODEL OF SELECTING THE ROLLING STOCK FOR PASSENGER BUS TRANSPORTATION

M. Kostikova, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), I. Skrypina, Asst. Prof.,
Kharkov National Automobile and Highway University

Abstract. The problem of choosing buses of different carrying capacity while simultaneously using them on regular urban routes is considered. The indicators that affect the selection of the rolling stock are analyzed. Methods for constructing models, which allow calculating the number of buses of different classes for one city route are proposed. The implementation of the constructed models will make it possible to obtain the savings in capital expenditures, as well as reduce the operational costs of an enterprise.

Key words: mathematical model, operational costs, passenger transportation, investment, efficiency, urban passenger transport, rolling stock, restrictions.

Вступ

Основним видом транспорту в містах є пасажирський автомобільний транспорт, який здійснює перевезення пасажирів автобусами та легковими автомобілями. Незважаючи на

велику кількість недоліків автомобільного транспорту порівняно з іншими видами транспорту (мала продуктивність, великий ступінь забруднення навколишнього середовища, порівняно висока собівартість), він набув великого розвитку не лише в міських пере-

зеньях, але і в приміських, міжміських та міжнародних. Основна його перевага – це маневреність, автономність та можливість доставки пасажирів із заданим ступенем комфорту «від дверей до дверей».

Аналіз публікацій

Значна кількість робіт присвячена пошуку дійових методів планування роботи систем масового пасажирського транспорту в містах. У [1] надано докладний аналіз цих праць. У джерелі [2] викладено теоретичні підходи і практичні результати досліджень у сфері підвищення ефективності функціонування маршрутного пасажирського транспорту в містах, наведено методику визначення мети та формалізації критерію ефективності міського пасажирського транспорту. Раніше проблеми вирішення задачі про призначення розглядалися в [3].

Мета і постановка завдання

Ефективна й надійна робота міського пасажирського транспорту безпосередньо впливає на ефективність функціонування системи господарства міста, його підприємств, організацій та установ. На підвищення ефективності функціонування маршрутного пасажирського транспорту в містах, зокрема пасажирських автобусних перевезень, впливає багато факторів, зокрема технічна готовність рухомого складу, на вибір якого, у свою чергу, впливає ряд показників, які потрібно враховувати. Тому досі є актуальною проблема вирішення задачі вибору типу рухомого складу.

Метою дослідження є розробка математичної моделі організації пасажирських автобусних перевезень.

Два підходи до вирішення задачі вибору типу рухомого складу

Ефективність пасажирських перевезень є комплексним показником і характеризується якістю обслуговування пасажирів, виробітком рухомого складу, мінімальними витратами, рівнем потреби у водіях і рухомому складі, соціальною ефективністю перевезень, що включає умови праці і відпочинку водіїв, заробітну плату, безпеку руху і тощо.

Основними чинниками, що визначають ефективність автобусних перевезень, є: система організації руху автобусів на маршруті, тип рухомого складу, що застосовується, швидкості руху автобусів, професійна підготовка кадрів, раціональність діючого розкладу руху, облік закономірності розподілу пасажиропотоків, стан дорожньої мережі, наявність засобів зв'язку і диспетчерське керівництво рухом автобусів на маршруті, наявність ефективного контролю за виконанням графіка руху автобусів на маршрутах.

З одного боку, основні фактори, що визначають ефективність пасажирських перевезень, є самостійними і впливають на ефективність перевезень у певних напрямках, а з іншого – в багатьох випадках вони є взаємопов'язаними, впливають один на одного і зміна одного з них спричиняє зміну інших.

Ефективна організація автомобільних пасажирських перевезень повинна включати: впровадження нормативів якості обслуговування пасажирів, систематичне обстеження і вивчення пасажиропотоків для розробки комплексу заходів із вдосконалення організації перевезень і підвищення якості обслуговування пасажирів, в тому числі розробку раціональних маршрутів, вибір типу і визначення кількості рухомого складу на маршрутах, нормування швидкостей руху автобусів, впровадження ефективних схем організації руху автобусів, вдосконалення розкладу руху автобусів на маршрутах, управління рухом транспортних засобів, оперативний контроль за регулярністю руху, координацію роботи автобусів з іншими видами транспорту, підвищення якості обслуговування пасажирів на автовокзалах, автостанціях і в дорозі, розробку поточних і перспективних планів розвитку автобусних сполучень і багато чого іншого.

З усіх факторів, що впливають на ефективну організацію пасажирських перевезень, розглянемо питання вибору типу рухомого складу, що працює на маршрутах.

У наш час спостерігається бурхливе зростання кількості приватних організацій і дрібних підприємств, що займаються перевезенням пасажирів. Виникають маршрути, які стихійно займають простір, не зайнятий державними маршрутами. Незважаючи на те, що пасажирооборот автотранспортних підприємств постійно знижується, витрати на під-

тримку автобусів у працездатному стані зросли вдвічі. Постійна недостача коштів, зношеність автобусного парку не дозволяють автопідприємствам успішно виконувати виробничі плани. При організації приватних маршрутів часто використовується рухомий склад із досить великим експлуатаційним пробігом, який важко підтримувати у працездатному стані. Ефективність роботи автомобільного транспорту багато в чому визначається рівнем технічної готовності рухомого складу. Тому перед знов виникаючими транспортними компаніями стоїть завдання оновлення парку рухомого складу. Враховуючи збитковість автобусних перевезень, утримання величезної ремонтної бази призведе до неминучого банкрутства підприємства. Іншим, не менш важливим питанням при організації приватних маршрутів є вартість проїзду пасажирів. Вона незмінно буде вищою, ніж на державному маршруті. Одним з виходів із ситуації, що склалася, буде можливість придбання нового рухомого складу за рахунок коштів зарубіжних інвестицій і акціонерних товариств. При цьому характерною відмінністю приватних автобусних перевезень буде висока якість обслуговування пасажирів, що, у свою чергу, зумовлено висококласним обладнанням, що є в салоні нових автобусів, а також комфортними умовами поїздки, зручним розкладом і швидкістю доставки пасажирів до місця призначення. У зв'язку з цим виникає задача визначення оптимального складу автобусів для певного підприємства або компанії. Необхідний науково обґрунтований план закріплення певного типу автобусів за конкретними маршрутами. Якщо маршрути вже сформовані, то задача оптимального вибору типу автобуса вимагає свого вирішення.

Можна виділити ряд показників, що впливають на вибір рухомого складу, більшість яких є незалежними один від одного: місткість транспортного засобу, ринкова вартість і вартість введення в експлуатацію, експлуатаційні витрати, тягово-швидкісні якості, зручність користування для пасажирів, використання габаритних розмірів і маси, паливна економічність, експлуатаційна технологічність транспортного засобу, безпека, екологічність транспортного засобу. Ці показники є нерівнозначними, і формування на їх основі інтегральної оцінки являє собою складну задачу, вирішення якої залежить від конкретних умов перевезень.

Це означає, що при збереженні свободи вибору транспортного засобу перевізником є сфера прийняття компромісних рішень.

Розглянемо задачу вибору типу рухомого складу, вирішення якої дозволить мінімізувати експлуатаційні витрати й отримати максимальний прибуток при використанні на маршрутах нових автобусів різного типу.

Нехай $I = \{1, 2, \dots, m\}$ – множина типів рухомого складу, що передбачається для придбання для обслуговування $J = \{1, 2, \dots, n\}$ міських маршрутів.

Для кожного маршруту $j \in J$ і для кожного типу автобуса $i \in I$ відома кількість їздок за добу – Z_{ij} автобусів i -го виду маршрутом j , яка дозволить задовольнити комерційні обмеження і приведе до максимального прибутку експлуатації, рівного P_{ij} . Тоді визначення оптимального складу автобусного парку полягає у присвоєнні кожному маршруту j такого типу автобуса i , щоб експлуатаційні витрати були мінімальними, за максимального прибутку, отриманого від перевезень, з урахуванням обмежень на число придбаних автобусів кожного типу.

Визначимо двозначні цілочисельні змінні x_{ij} таким чином: $x_{ij} = 1$, якщо тип автобуса i присвоєний маршруту j , і $x_{ij} = 0$ – в іншому випадку.

Для кожного типу автобуса i заданий нормативний термін служби, який визначимо через b_i . Якщо t_{ij} – час, необхідний автобусу i -го типу для здійснення перевезень по маршруту j , то сума годин для i -го виду автобуса, що дозволяє виконати вимоги до маршруту j , дорівнює $a_{ij} = z_{ij}t_{ij}$.

Шукане значення $x = x_{ij}$ повинно, таким чином, задовольняти m обмеженням
$$\sum_{j \in J} a_{ij}x_{ij} \leq b_i.$$

Якщо визначити через F_i експлуатаційні витрати, відповідні кожному типу автобуса i , то сума необхідних капітальних вкладень до рухомого складу i -го типу на маршруті j дорівнюватиме $C_{ij} = F_i a_{ij} - P_{ij}$.

Тоді задача зводиться до розв'язання наступної задачі цілочисельного лінійного програмування (із двозначними змінними x_{ij}):

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ij} x_{ij} \rightarrow \min ,$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_{ij} \leq b_{ij} ,$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1 ,$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо автобус } i \text{ призначений} \\ & \text{на маршрут } j; \\ 0 & \text{– в іншому випадку.} \end{cases}$$

Якщо $|I|=|J|$ і всі коефіцієнти a_{ij} , як і всі праві частини b_i , дорівнюють 1, то дану задачу можна розглядати як класичну задачу про призначення

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ij} x_{ij} \rightarrow \min ,$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1 ,$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 ,$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо автобус } i \text{ призначений} \\ & \text{на маршрут } j; \\ 0 & \text{– в іншому випадку.} \end{cases}$$

Задача в такому вигляді ефективно розв'язується за допомогою відомих алгоритмів. Розв'язок задачі, без прийнятих зауважень, входить до класу NP -повних задач. Для її розв'язання можуть бути взяті різні підходи, що використовують ослаблення Лагранжа. Так, пропонується ослабляти обмеження $\sum_{j \in J} a_{ij} x_{ij} \leq b_{ij}$, зв'язуючи з ними вектор множників $\lambda = (\lambda_i)$, $i \in I$ – з невід'ємними елементами. Значення подвійної функції легко виходить за допомогою розв'язання задачі

$$\omega(\lambda) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C'_{ij} x_{ij} - \sum_{i \in I} \lambda_i b_i ,$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \quad j \in J ,$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо автобус } i \text{ призначений} \\ & \text{на маршрут } j; \\ 0 & \text{– в іншому випадку,} \end{cases}$$

де $c'_{ij} = c_{ij} + \lambda_i a_{ij}$ для усіх i, j .

Для цього достатньо визначити $c'_{ij} = \{\min c'_{ij}\}$, для кожного $j \in J$ присвоїти відповідній змінній значення 1 (інші змінні дорівнюють 0).

Можливий і інший підхід до розв'язання даної задачі. Він полягає в перевазі ослаблення обмеження $\sum_{i \in I} x_{ij} = 1$ і обмежень

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_{ij} \leq b_{ij} .$$

Висновки

У результаті дослідження знайдено два рівноправних підходів до побудови математичної моделі вибору типу рухомого складу для пасажирських перевезень.

Реалізація цих моделей дозволить знизити експлуатаційні витрати на здійснення автобусних перевезень і отримати максимальний прибуток від перевезень за мінімальних капітальних витрат на придбання рухомого складу. У той час як кожний з отриманих показників істотно впливає на ефективність пасажирських перевезень загалом.

Література

1. Доля В.К. Теоретические основы и методы организации маршрутных автобусных перевозок пассажиров в крупных городах: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.10 / В.К. Доля. – М., 1993. – 301 с.
2. Горбачов П.Ф. Сучасні наукові підходи до організації роботи маршрутного пасажирського транспорту в містах: монографія / П.Ф. Горбачов. – Х.: ХНАДУ, 2009. – 196 с.
3. Панишев А.В. Эффективное построение оптимальных решений в задаче транспортного типа / А.В. Панишев, И.В. Скрипина, Е.В. Скакалина // Авто-

мобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2000. – Вып. 4. – С. 63–65.

References

1. Dolya V. K. *Teoreticheskie osnovy i metody organizatsii marshrutnykh avtobusnykh perevozok passazhirov v krupnykh gorodakh*: dis. d-ra tehn. nauk: 05.22.10 [Theoretical bases and methods of organization of scheduled bus transportations of passengers in large cities]. Moscow, 1993. 301 p.
2. Gorbachov P. F. *Suchasni naukovi pidkhody do orhanizatsiyi roboty marshrutnoho pasazhyrs'koho transportu v mistakh: monohrafiya* [Modern scientific approach-

es to the organization of passenger transport route in the cities]. Kharkiv, KhNADU Publ., 2009. 196 p.

3. Panishev A. V., Skripina I. V., Skakalina E. V. *Effektivnoe postroyeniye optimalnykh resheniy v zadache transportnogo tipa* [Effective construction of optimal solutions to the problem of transport type]. *Avtomobilnyy transport: sb. nauch. tr.*, 2000, vol. 4. pp. 63–65.

Рецензент: С.В. Нагорный, профессор, д.т.н., ХНАДУ.
