

УДК 330.322

Ю. І. Мельнікова,
старший викладач кафедри управління на транспорті, НТУ "Дніпровська політехніка"
ORCID ID: 0000-0001-7023-023X

DOI: 10.32702/2306-6792.2020.9.127

ОПТИМІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

Yu. Melnikova,
Senior Lecturer of Department of Transportation Management, Dnipro University of Technology

OPTIMIZATION MODEL FOR TRAFFIC PLANNING

Розроблено методологію вирішення завдання планування парку транспортних засобів з урахуванням вартості очікування пасажирів. Мета цієї методології — мінімізувати розмір парку і скоротити час очікування пасажирів. Підхід з використанням функції дефіциту (DF) застосовується для реалізації зсуву часу відправлення (SDT) і зупинок (DH), щоб мінімізувати розмір парку. З метою мінімізувати як експлуатаційні витрати транспортного засобу, так і вартість очікування пасажирів введена функція оптимізації. Для практичної реалізації результатів дослідження була застосована інформація про продаж квитків компанії з міжнародних пасажирських перевезень. Результати показують, що загальна вартість може бути зменшена на 25% в порівнянні з поточними графіками. Числові результати показали, що реалізована на практиці методологія здатна вирішити масштабну проблему оптимізації організації транзитної мережі.

Traffic management issues are extremely important for Ukrainian transport companies. This is due to a reduction in international passenger traffic, which is systematic and requires full analysis using scientific methods and including a modeling process. Traffic flow modeling is an effective tool for improving and optimizing transport systems and improving the quality of transport services. From a theoretical and practical point of view, modeling of transport flows is so relevant that a large number of publications in foreign and domestic literature are devoted to this issue. The task of optimizing the traffic flow was implemented on the basis of data from the reporting of ticket sales of the transport company for international transport "East West Eurolines" for 2018-2019 on the flight Kiev-Wroclaw.

Data about the company's available resources is used to build model constraints. The target function takes into account the operating costs that accompany the flight and the reputational losses that will be taken into account in the deficit function. The model in this study is based on the deficit function and the costs that arise in the activities of passenger transport enterprises. The target function of the model takes into account the operating costs that accompany the trip and the reputational losses that were included in the deficit function. The approach of taking into account the existing shortage of vehicles is used to implement changes in travel schedules, stops made by drivers during the flight, and to minimize the size of the bus fleet. In this work, we developed a methodology for solving the problem of planning a fleet of vehicles taking into account the cost of waiting for a passenger. The goal of this methodology is to minimize the size of the fleet and reduce the waiting time for passengers. The deficit function (DF) approach is used to implement departure time shifts (SDT) and stops (DH) to minimize the size of the fleet. In order to minimize both the operating costs of the vehicle and the cost of waiting for a passenger, an optimization function has been introduced. For practical implementation of the results of the study, information on the sale of tickets for international passenger transport companies was applied. The Results show that the total cost can be reduced by 25% compared to the current schedules. Numerical results have shown that the methodology implemented in practice can solve a large-scale problem of optimizing the organization of the transit network.

Ключові слова: автотранспортний потік, якість обслуговування, транзитна мережа, функція оптимізації, експлуатаційні витрати.

Key words: traffic flow, quality of service, transit network, optimization function, operating costs.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Запуск та експлуатація систем громадського транспорту, як правило, призводить до значних витрат для перевізника. А отже, фірма-пе-

ревізник намагається оптимізувати свої витрати. З іншого боку, запуск транспорту створює швидкі та доступні перевезення для всіх верств населення в країні та за її межами, одночасно

Таблиця 1. Результати коригування розкладу руху автобусів

Маршрут	Маршрут	Час відправлення	Час прибуття	Новий час відправлення	Новий час прибуття
10	<i>a-b</i>	19:30	23:55	17:55	22:20
12	<i>b-a</i>	14:00	18:25	15:35	20:00
31	<i>b-c</i>	22:30	4:30	20:55	2:55
13	<i>b-a</i>	14:30	18:55	17:58	18:38
39	<i>c-d</i>	22:30	6:30	20:55	4:55
24	<i>c-b</i>	21:30	15:30	19:55	13:55
32	<i>b-c</i>	16:00	22:00	17:35	23:35
15	<i>b-a</i>	20:00	0:25	18:20	19:00
41	<i>c-d</i>	6:00	14:00	7:35	15:35
26	<i>c-b</i>	12:00	18:00	10:25	16:25
48	<i>d-c</i>	17:40	1:40	16:05	0:05
49	<i>d-c</i>	19:20	3:20	17:45	1:45

зменшуючи негативні наслідки транспортування, як-от: забруднення повітря, шумове забруднення і тому подібне.

Як правило, метою оптимізації вибирається мінімізація загального часу подорожі пасажирів. У системі пасажирських перевезень такі параметри, як час у дорозі, зручність та інші, знаходяться безпосередньо під впливом охоплення маршрутів транспорту, періодичності та його обслуговування порівняно з іншими послугами дорожнього руху та характеристики, пов'язані з ними.

Якість мережі пасажирських перевезень визначається на основі таких факторів, як безпосередність маршрутів, покриття послуг, експлуатаційні витрати, вартість квитка та середня кількість транспортних засобів. Під час моделювання вибору маршруту наслідки перевантажень через переповнення транспортних засобів не враховуються. Така велика кількість завдань, які необхідно розв'язати, стала основою для великої кількості досліджень у сфері пасажирських перевезень різними видами транспорту; екології, що передбачає зменшення негативного впливу автомобілів на навколишнє середовище через пошук альтернативних видів палива та в сфері планування транспортної мережі.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Значний обсяг досліджень у сфері перевезень свідчить про важливість цієї галузі. Автомобільний транспорт — одна з найважливіших галузей економіки і розвивається як невід'ємна частина єдиної транспортної системи [1; 2]. Технічну базу сучасного автомобільного транспорту складають: рухомий склад, дороги та автотранспортні підприємства [3; 4].

Перевезення вантажів пов'язано з необхідністю використання навантажувально-розвантажувальних робіт, що є невід'ємною і найбільш

трудомісткою частиною транспортного процесу [5; 6]. Перевезення пасажирів, передусім стосуються попиту на перевезення, якості обслуговування та організації руху транспорту.

Теорія транспортних процесів розглядає характерні їм закономірності та методи оптимізації. На базі цієї теорії відбувається організація перевезень та управління ними [7].

Теорія транспортних процесів — це прикладна наукова дисципліна, в якій застосовуються теорія систем та дослідження операцій, математичне програмування, математична статистика, теорія масового обслуговування, управління транспортними потоками [8].

Тому, першочерговим завданням досліджень на даному етапі є пошук методу поєднання всіх чинників, які впливають на інтенсивність пасажиропотоку та вантажних перевезень, в одну модель, та здійснення оптимізації основних процесів, які виникають у діяльності фірми-перевізника.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою статті є системне дослідження, критична оцінка теоретичних положень та діючої практики планування автотранспортного потоку.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Задача оптимізації транспортного потоку буде реалізована на основі даних звітності продажу квитків транспортної компанії з міжнародних перевезень "East West Eurolines" за 2018—2019 роки на рейсі Київ — Вроцлав.

Для побудови обмежень моделі використано дані про доступні ресурси компанії. Цільова функція враховує експлуатаційні витрати, які супроводжують рейс, та репутаційні втрати, які будуть враховані в функції дефіциту.

Найбільша тривалість очікування пасажиром автобуса складає більше однієї години, ре-

путаційні втрати, які понесе фірма складають 750 грн. Тому діапазон часу регулювання поїздки $a-b$ та $b-a$ складає мінімум $\Delta = \pm 01:35$ годин. Результати змінених графіків відправлення і прибуття автобусів подано в таблиці 1.

Оптимальна кількість транспортних засобів для чотирьох терміналів складає: $d(a,t)^* = 4$, $d(b,t)^* = 2$, $d(c,t)^* = 5$, $d(d,t)^* = 1$. Мінімальна кількість транспортних засобів, необхідних для завершення всіх перевезень, дорівнює сумі всіх максимальних зворотних різниць, тобто:

$$\min N = \sum_{k \in K} \max d(k, t) = 12 \quad (1).$$

Нижня межа кількості транспортних засобів, необхідних для чотирьох станцій, становить $G^* = \max g(t) = 12$. Тим часом, регулюючи час відправлення деяких автобусів, час очікування пасажирів контролюється протягом 2 годин для поліпшення обслуговування автобусів.

STD — це процес коригування розкладу руху транспортного засобу, яке відіграє велику роль при плануванні мережі.

До *STD* і процесів оптимізації розмір парку становив 16, а значення цільової функції становило 166,65 тисяч гривень.

Зрушення графіків базується на таких факторах, як витрати рейсу, пасажиропотік та репутація перевізника. З огляду на вартість очікування пасажирів, час відправлення деяких автобусів коригується, і додається ще один транспортний засіб. Розмір парку зменшується до 11, а значення цільової функції стає 124,98 тисяч гривень, що дозволило заощадити 25,0%.

У січні 2020 року було застосовано *STD* і процеси оптимізації описані в третьому розділі наукової роботи. В графіках перевезень пасажирів на маршруті Київ — Вроцлав були застосовані зміни відповідно до отриманих результатів.

Після практичного застосування результатів дослідження було зафіксовано збільшення пасажиропотоку компанії з міжнародних пасажирських перевезень "East West Eurolines" на обраному рейсі. Причиною цього стало зменшення часу простою. Час відправлення та час прибуття було розраховано та зміщено за допомогою моделі описаної в розділі 2 так, щоб автобус прибував на станцію тоді, коли попит пасажирів на нього був найбільший. Отже, очікування клієнтів стало меншим, парк машин теж було скорочено, відповідно і прибутки фірми збільшились.

Для того щоб проаналізувати вплив впроваджених змін та їх відношення до витрат компанії, в середовищі *R* було побудовано прогноз пасажиропотоку на березень 2020 року за до-

помогою нейронної мережі. Оскільки цей період вважається одним найменш прибуткових, фірма намагається суттєво використати методи оптимізації.

Ця *ANN* заснована на сукупності з'єднаних одиниць або вузлів, штучними нейронами. Кожне з'єднання, як і синапси в біологічному мозку, може передавати сигнал іншим нейронам. Штучний нейрон, який приймає сигнал, потім обробляє його і може сигналізувати нейрони, підключені до нього.

У реалізаціях "сигнал" під час з'єднання є реальним числом, а вихід кожного нейрона обчислюється деякою нелінійною функцією суми його входів. Вага збільшує або зменшує силу сигналу при з'єднанні. Зазвичай нейрони агрегуються в шари. Різні шари можуть виконувати різні перетворення на своїх входах. Сигнали переходять від першого шару (вхідного шару), до останнього шару (вихідного шару), можливо, після проходження шарів кілька разів.

Після зміщення графіків прибуття та відправлення автобусів пасажиропотік відповідно збільшився (графіки було зміщено так, щоб охопити ті години, в які попит пасажирів був найбільшим), тому прогноз показав нам кращі результати, ніж у березні минулого року.

ВИСНОВКИ

Після практичного застосування результатів дослідження було зафіксовано збільшення пасажиропотоку компанії з міжнародних пасажирських перевезень "East West Eurolines" маршруті Київ — Вроцлав. Причиною цього стало зменшення часу простою, внаслідок зміщення графіків відправлення та прибуття. Також прогноз пасажиропотоку здійснений на другу половину лютого і до кінця березня показав нам кращі результати, ніж в березні минулого року.

Таким чином, у березні очікується сезонне падіння пасажиропотоку, проте воно є незначним в порівнянні з березнем 2019 року.

Числові результати показали, що реалізована на практиці методологія здатна вирішити масштабну проблему оптимізації організації транзитної мережі.

Подальші вдосконалення можуть включати розробку методів оптимізації, що враховують динамічний транзитний попит, попит та час подорожі в різні періоди року, а також очікування та перенесення штрафу.

Таким чином, вдалось знайти оптимальне поєднання всіх доступних ресурсів, необхідних

для реалізації рейсу, з врахуванням мінімізації всіх можливих втрат.

Література:

1. Aldred R., Elliott B., Woodcock J. & Goodman A. (2017). Cycling provision separated from motor traffic: a systematic review exploring whether stated preferences vary by gender and age. *Transport reviews*, 37 (1), 29—55.
2. Cejka J. (2016). Transport Planning Realized Through the Optimization Methods. *Procedia engineering*, 161, 1187—1196.
3. Gossling S. (2016). Urban transport justice. *Journal of transport Geography*, 54, 1—9.
4. Mueller N., Rojas-Rueda D., Basagana, X., Cirach M., Cole-Hunter T., Dadvand P.,... & Tonne C. (2017). Health impacts related to urban and transport planning: a burden of disease assessment. *Environment international*, 107, 243—257.
5. Newman P., Kosonen L. & Kenworthy J. (2016). Theory of urban fabrics: Planning the walking, transit/public transport and automobile/motor car cities for reduced car dependency. *Town Planning Review*, 87 (4), 429—458.
6. Nieuwenhuijsen M. J. (2018). Influence of urban and transport planning and the city environment on cardiovascular disease. *Nature reviews cardiology*, 15 (7), 432—438.
7. Nieuwenhuijsen M. & Khreis H. (2019). Urban and Transport planning, environment and health. In *Integrating Human Health into Urban and Transport Planning* (pp. 3—16). Springer, Cham.
8. Pryor E.G. (2019). 3 Parallel development of strategic land-use and transport planning: the case of the Territorial Development Strategy. *Land-use / Transport Planning in Hong Kong: A Review of Principles and Practices*.

References:

1. Aldred, R. Elliott, B. Woodcock, J. and Goodman, A. (2017), "Cycling provision separated from motor traffic: a systematic review exploring whether stated preferences vary by gender and age", *Transport reviews*, vol. 37 (1), pp. 29—55.
2. Cejka, J. (2016), "Transport Planning Realized Through the Optimization Methods", *Procedia engineering*, vol. 161, pp. 1187—1196.
3. Gossling, S. (2016), "Urban transport justice", *Journal of transport Geography*, vol. 54, pp. 1—9.
4. Mueller, N. Rojas-Rueda, D. Basagana, X. Cirach, M. Cole-Hunter, T. Dadvand, P. and Tonne, C. (2017), "Health impacts related to urban and transport planning: a burden of disease

assessment", *Environment international*, vol. 107, pp. 243—257.

5. Newman, P. Kosonen, L. and Kenworthy, J. (2016), "Theory of urban fabrics: Planning the walking, transit/public transport and automobile/motor car cities for reduced car dependency", *Town Planning Review*, vol. 87 (4), pp. 429—458.

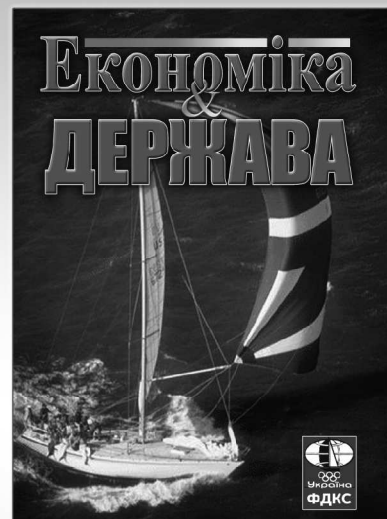
6. Nieuwenhuijsen, M. J. (2018), "Influence of urban and transport planning and the city environment on cardiovascular disease", *Nature reviews cardiology*, vol. 15 (7), pp. 432—438.

7. Nieuwenhuijsen, M. and Khreis, H. (2019), "Urban and Transport planning, environment and health", *Integrating Human Health into Urban and Transport Planning*, Springer, Cham, pp. 3—16.

8. Pryor, E. G. (2019), "Parallel development of strategic land-use and transport planning: the case of the Territorial Development Strategy", *Land-use/Transport Planning in Hong Kong: A Review of Principles and Practices*.

Стаття надійшла до редакції 30.04.2020 р.

**Науково-практичний журнал
«ЕКОНОМІКА ТА ДЕРЖАВА»**



Передплатний індекс: 01751

Виходить 12 разів на рік

**наукове фахове видання України
З ПИТАНЬ ЕКОНОМІКИ
(Категорія «Б»)**

Наказ Міністерства освіти і науки України від 28.12.2019 № 1643

Спеціальності — **051, 071, 072, 073, 075, 076, 292.**

www.economy.in.ua

e-mail: **economy_2008@ukr.net**

тел.: (044) 223-26-28

(044) 458-10-73