

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

UDC 656.073.28

THE MODEL FOR SELECTING THE OPTIMAL INTERCITY SCHEME FOR PACKAGED CARGO DELIVERY WITH THE USE OF ROAD TRANSPORT

Ye. Nagorny, Prof., D. Sc. (Eng.), V. Naumov, Prof., D. Sc. (Eng.), O. Shulika, T. Asst.,
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. Planning and implementation of the process of packaged cargo delivery by road transport are based on the transport and technological schemes of delivery. The optimal scheme choice allows providing the maximal cumulative effect of all participants of the transport process. The total costs of the delivery process participants have been proposed as the criterion for determining the optimal transport and technological delivery scheme. The proposed approach to the formalization of the complete set of alternative variants of the packaged cargo delivery process in the intercity as a graph-model allows using the network optimization techniques.

Key words: delivery process, packaged cargo, intercity transportation, road transport.

МОДЕЛЬ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ДОСТАВКИ ТАРНО-ШТУЧНИХ ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ У МІЖМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ

Є.В. Нагорний, проф., д.т.н., В.С. Наумов, проф., д.т.н., О.О. Шуліка, асист.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Наведено результати аналізу підходів до формування альтернативних варіантів транспортно-технологічних схем доставки вантажів. Запропоновано критерій визначення оптимальної транспортно-технологічної схеми доставки. Надано модель вибору оптимальної транспортно-технологічної схеми доставки тарно-штучних вантажів у міжміському сполученні.

Ключові слова: процес доставки, тарно-штучні вантажі, міжміські перевезення, автомобільний транспорт.

МОДЕЛЬ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ДОСТАВКИ ТАРНО-ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ В МЕЖДУГОРОДНОМ СООБЩЕНИИ

Е.В. Нагорный, проф., д.т.н., В.С. Наумов, проф., д.т.н., О.А. Шулика, ассист.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Приведены результаты анализа подходов к формированию альтернативных вариантов транспортно-технологических схем доставки грузов. Предложен критерий определения оптимальной транспортно-технологической схемы доставки. Представлена модель выбора оптимальной транспортно-технологической схемы доставки тарно-штучных грузов в междугородном сообщении.

Ключевые слова: процесс доставки, тарно-штучный груз, междугородные перевозки, автомобильный транспорт.

Introduction

A technology of cargo delivery process we consider as a technique of implementation of the particular transportation process by breaking it with a system of consecutive and interlinked stages of operations that are performed more or less definitely and are implemented in order to achieve high efficiency of transportation process.

Planning and implementation of the process of the packaged cargo (PC) delivery by road transport are based on transport and technological schemes of delivery (TTSD) that are quite complex due to the specifics of transport process in the intercity. Thus, as a rule, an estimation of alternative delivery schemes for determination of optimal one for a certain request is not being implemented. The optimal scheme choice allows providing of maximal cumulative effect of all participants of the transport process.

Therefore, an important task while the implementation of an integrated process of the PC delivery in the intercity is to develop a model of choice of the optimal TTSD of PC by road transport.

Analysis of publications

The methods of choice of transport and technological schemes of PC delivery in the intercity have been examined in the researches of A. Vorkut, A. Velmozhin, L. Mirotin, N. Goryaev, Ie. Nagornyi, V. Naumov and other scientists. Papers [1, 2] have been devoted to the choice of intercity transportation schemes on the basis of technical and economic calculations of transport unit costs for compared alternative scheme variants. Wherein, in those papers an insufficient attention is paid to the accompanying forwarding operations.

In [3] algorithms that describe the sequence of operations feasibility were used for the formalization of forwarding process. However, the analysis has been carried out mainly with the position of freight forwarding companies and less attention was given to the detailed consideration of the delivery technology.

Papers [4,5] considerate the planning issues and the implementation features of containerized cargo delivery process and provides recommendations for development of the optimal scheme

for each individual request on transport services. But the main attention has been paid to the choice of delivery process participants and combination of delivery transport modes without a detailed analysis of technological operations on a micro-level.

Paper subject and tasks

The paper aims to develop tools for improvement of the efficiency of PC delivery in the intercity by choosing the optimal transport and technological delivery schemes.

The object of research is the process of forming of transportation technology for packaged cargo delivery in the intercity, and the research subject is the process of choosing the optimal transport and technological packaged cargo delivery scheme.

The following tasks have been set in order to achieve the research subject: choice of the efficiency criterion, formalization of the research object, development of a methodology for choosing of the optimal TTSD by road transport for PC in the intercity.

Developing the model of choice of optimal transport and technological schemes

The purpose of the mathematical model development is to choose the optimal TTSD for PC in the intercity by road transport. Model input parameters are the parameters of the requests flow and the number of the group $\{N_{LC}\}$ which is defined by dispatchers of the enterprise and carries information about the client's needs regarding the transport package, the productive resources availability, the geographical location of the transport process participants and so on.

Analysis of existing criterions of efficiency has shown that the most reasonable criterion for the choice of PC delivery scheme was the overall costs for all the participants of delivery process as the elements efficiency criterion of logistic system (LS) of cargo delivery in the intercity. Given that one logistic supply chain (LSC) implements one owner application of the cargo consignment delivery suppose that total cost of all realized LSC is LS efficiency criterion. Efficiency criterion is as follows:

$$E_{LS}(Q, L, I) = \sum_{i=1}^{N_r} E_{LCi} \rightarrow \min, \quad (1)$$

where Q – the consignment volume for the request, t; L – delivery distance, km; I – time interval between the moments of current request reception and the reception of the next request, hrs; N_r – number of serviced requests of shippers who participate in delivery process during certain period of time, requests / time period; E_{LCi} – the costs of servicing of the i -th request, hrn / time period.

$$E_{LC} = \sum_{j=1}^{N_{FO}} E_{FOj} + \sum_{j=1}^{N_C} E_{Cj} + \sum_{j=1}^{N_{FF}} E_{FFj} + \sum_{j=1}^{N_T} E_{Tj}, \quad (2)$$

where E_{FO} , E_C , E_{FF} , E_T – costs for cargo owners (consignors – CR, and consignees – CE), carriers, freight forwarders and cargo terminals respectively, UAH / time period; N_{FO} – number of cargo owners, one; N_C – number of carriers; N_{FF} – number of freight forwarding companies (FFC); N_T – number of terminals involved to implement the application, one.

Outgoing model parameter is a variant of transport and technological scheme which is characterized by the optimal (minimum) value of the efficiency criterion.

Model of choice of the optimal TTSD could be represented as a system of “gray box” which consists of two interrelated processes: 1 – the process of forming set of alternative transport and technological packaged cargo delivery schemes $\{T_i\}$; 2 – the process of determining the effectiveness of alternative schemes and the choice of the optimal scheme (Fig. 1).

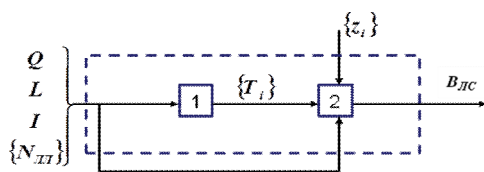


Fig. 1. Cybernetic model for choice of the optimal technological PC delivery scheme

The time of loading and unloading, packaging, labeling, temporary storage of 1 t cargo, vehicle speed, time to confirm the structure and choice LSC have been taken into account as external model factors $\{z_i\}$. For the choice of the optimal delivery scheme it is essential to resolve the problem of the set of alternative TTSDs determining. Basing on the analysis of existing approaches to the formalization of cargo delivery process the core list of elementary operations needed to deliver the PC in the intercity has been formed [6]. The options encoding for

events due to the elementary process options has been introduced as follows: response (event) – code – a summary of the option (event) characteristics.

The following characteristics (event) have been considered: consultation with the FFC (a_1 – took place, a_2 – did not take place); evaluation of the self implementation (b_1 – took place, b_2 – did not take place); search at the logistics web site (c_1 – took place, c_2 – did not take place); placement on the logistics web site (d_1 – took place, d_2 – did not take place); analysis of alternatives (e_1 – took place, e_2 – did not take place); coordination of rates with the carrier (f_1 – took place, f_2 – did not take place); coordination of rates with the cargo owner (g_1 – took place, g_2 – did not take place); transportation characteristics (aa_1 – consignment as a single cargo, aa_2 – consignment as a cargo in the consumer packaging, aa_3 – consignment as a single cargo loaded on (in) a pallet (container), aa_4 – consignment as a cargo in the consumer packaging loaded on (in) a pallet (container)); availability of consumer packaging (ab_1 – is available, ab_2 – is not available); availability of packing means (ac_1 – is available, ac_2 – is not available); returns of shipping tare (ad_1 – took place, ad_2 – did not take place); availability of loading and unloading facilities (ae_1 – are available, ae_2 – are not available); the labeling apply (af_1 – is automated, af_2 – is manual); paperwork (ag_1 – is automated, ag_2 – is manual); reading the labels (ai_1 – is automated, ai_2 – is manual); the required vehicle body type basing on the cargo transport characteristics (ak_1 – van, onboard general purpose vehicle (tented), ak_2 – other); availability of the required vehicle (al_1 – is available, al_2 – is not available); the vehicle possible loading and unloading scheme (am_1 – from the rear side of the vehicle, am_2 – from the sides, am_3 – combined); required scheme for the vehicle loading (an_1 – from the rear side of the vehicle, an_2 – from the sides, an_3 – combined); required scheme for the vehicle unloading (ao_1 – from the rear side, ao_2 – from the sides, ao_3 – combined); availability of a cargo processing area (ap_1 – is available, ap_2 – is not available); packaging method (aq_1 – mechanized, aq_2 – manual); warehouse recycling (at_1 – no need, at_2 – consolidation of cargo units is required, at_3 – reconfiguring of the cargo unit is required, at_4 – disbanding of the cargo unit is required).

We represent the model of the full variants set of technological schemes of PC delivery in the in-

tercity by road transport as graphs for the considered in [6,7] four LSC variants (Fig. 2, 3).

Thus, the complete set of all paths from the top of the “Request is received” to “Request is serviced” can be obtained from the data graphs.

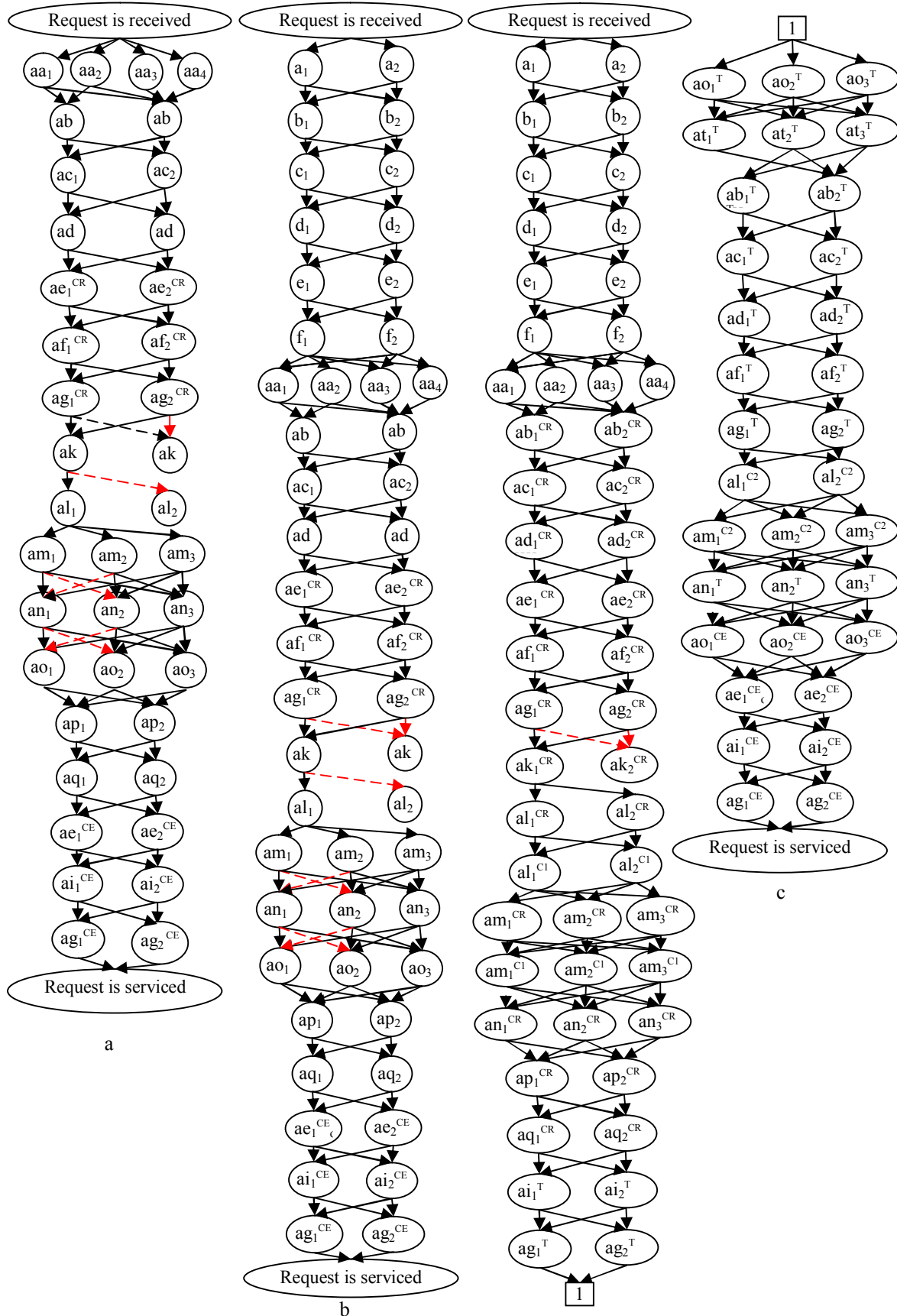


Fig. 2. Model for forming of the complete set of alternative PC schemes for the 1F-, 2F- and 1T- variants of LSC

Conclusion

The conducted analysis of practical experience and scientific works in the field of improving the efficiency of road transport suggests that the most appropriate criterion for evaluation of the effectiveness of PC delivery in the intercity is the total costs of the delivery process participants.

The proposed approach to the formalization of the complete set of alternative variants of PC delivery process in the intercity as a graph-model allows using of the network optimization techniques.

In particular, the proposed models could determine the optimal variant of servicing technology by means of a method of finding the shortest path in the network.

Reference

1. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки / А.И. Воркут. – К.: Высш. шк., 1986. – 456 с.
2. Вельможин А.В. Грузовые автомобильные перевозки: учебник для вузов / А.В. Вельможин, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Куликов – М.: Горячая линия, 2006. – 560 с.
3. Наумов В.С. Транспортно-экспедиционное обслуживание в логистических системах: монография / В.С. Наумов. – Х.: ХНАДУ, 2012. – 220 с.
4. Наумов, В.С. Модель wyboru оптимальних транспортно-технологічних схем доставки вантажів в контейнерах/ В.С. Наумов, Н.С. Вітер // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2011. – Вип. 5(159). – Ч. 1. – С. 259–264.
5. Наумов В.С. Методика формування альтернативних транспортно-технологічних систем доставки вантажів / В.С. Наумов, Н.С. Вітер // Восточно-Европейский журнал передовых технологий: сб. науч. тр. – 2011. – Вып. 5/4(53). – С. 16–19.
6. Нагорний Є.В. Формування варіантів технології доставки тарно-штучних вантажів автомобільним транспортом у міжміському сполученні / Є.В. Нагорний, В.С. Наумов, О.О. Шуліка // Автомоби-

льный транспорт: сб. науч. тр. – 2013. – Вып. 32. – С. 61–66.

7. Нагорний Є.В. Особливості формування схем доставки тарно-штучних вантажів автомобільним транспортом у міжміському сполученні / Є.В. Нагорний, В.С. Наумов, О.О. Шуліка // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2013. – Вып. 33. – С. 77–81.

Reference

1. Vorkut A.I. Gruzovye avtomobil'nye perevozki. Kyiv, Vyssh. shk. Publ., 1986. 456 p.
2. Vel'mozhin A.V., Mirotin L.B., Gudkov V.A. Gruzovye avtomobil'nye perevozki: uchebnik dlja vuzov. Moscow, Gorjachaja linija Publ., 2006. 560 p.
3. Naumov V.S. *Transportno-jekspedicionnoe obsluzhivanie v logisticheskikh sistemah*: Kharkov, KhNADU Publ., 2012. 220 p.
4. Naumov V.S., Viter N.S. Model' voboru optimal'nih transportno-tehnologichnih shem dostavki vantazhiv v kontejnerah. *Visnik Shidnoukr. nac. un-tu im. V. Dalja*, 2011, vol. 5(159), iss. 1. pp. 259–264.
5. Naumov V.S., Viter N.S. Metodika formuvannja al'ternativnih transportno-tehnologichnih sistem dostavki vantazhiv. *Vostochno-Evrop. zhurnal peredovyh tehnologij: sb. nauch. tr.*, 2011, vol. 5/4(53). pp. 16–19.
6. Nagornij E.V., Naumov V.S., Shulika O.O. Formuvannja variantiv tehnologії dostavki tarно-shtuchnih vantazhiv avtomobil'nim transportom u mizhmis'komu spoluchenni. *Avtomobil'nyj transport: sb. nauch. tr.*, 2013, vol. 32. pp. 61–66.
7. Nagornij E.V., Naumov V.S., Shulika O.O. Osoblivosti formuvannja shem dostavki tarно-shtuchnih vantazhiv avtomobil'nim transportom u mizhmis'komu spoluchenni. *Avtomobil'nyj transport: sb. nauch. tr.*, 2013, vol. 33. pp. 77–81.

Рецензент: П.Ф. Горбачёв, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 7 ноября 2014 г.

УДК 656.11

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ЗАТРИМКИ ВИЇЗДУ АВТОБУСА ІЗ ЗУПИННОГО ПУНКТУ В ПОТІК АВТОМОБІЛІВ

**П.Ф. Горбачов, проф., д.т.н., О.В. Макаричев, доц., к.ф.-м.н., С.В. Пронін, к.т.н.,
О.С. Колій, асист.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

Анотація. Формалізовано та теоретично обґрунтовано методику розрахунку часу затримки виїзду автобуса із зупинного пункту після закінчення посадки пасажирів та закриття дверей, з урахуванням інтенсивності транспортного потоку та характеристик автобуса.

Ключові слова: автобус, зупинний пункт, інтенсивність руху, транспортний потік, час затримки, швидкість руху.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ВЫЕЗДА АВТОБУСА ИЗ ОСТАНОВОЧНОГО ПУНКТА В ПОТОК АВТОМОБИЛЕЙ

**П.Ф. Горбачев, проф., д.т.н., А.В. Макаричев, доц., к.ф.-м.н., С.В. Пронин, к.т.н.,
А.С. Колий, ассист., Харьковский национальный автомобильно-дорожный
университет**

Аннотация. Формализована и теоретически обоснована методика расчета времени задержки выезда автобуса с остановочного пункта после окончания посадки пассажиров и закрытия дверей, с учетом интенсивности транспортного потока и характеристик автобуса.

Ключевые слова: автобус, остановочный пункт, интенсивность движения, транспортный поток, время задержки, скорость движения.

DETERMINATION OF THE DELAY DEPARTURE TIME OF THE BUS FROM STOPPING POINT INTO THE CAR FLOW

**P. Gorbachov, Prof., Ph. D. (Eng.), O. Makarychev, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
S. Pronin, Ph. D. (Eng.), O. Koliy, T. Asst.,
Kharkiv National Automobile and Highway University**

Abstract. An analytical model for estimation of the bus departure delay from the bus stopping point after passenger loading is presented. The model allows to take into account the traffic density on a particular road section of the transport network, as well as the bus parameters.

Key words: bus, stop point, traffic, traffic flow, delay time, speed.

Вступ

Одним з найбільш гострих питань, що виникають в умовах значної інтенсивності транспортних потоків, є вплив цих потоків на рух маршрутних транспортних засобів. Найбільшою мірою цей вплив виявляється при початку руху маршрутного транспортного засобу від позначеної зупинки, розташованої в заїзному «кармані», коли цей маневр призводить

до появи небезпеки для руху. Особливо явно це спостерігається в історичному центрі міст, де інтенсивний та часто швидкісний транспортний потік спонукає водіїв маршрутних транспортних засобів очікувати появи в потіці інтервалу, достатнього для безпечного маневрування. Це призводить до суттєвих затримок при виїзді не лише транспортного засобу, а ще й пасажирів, що прямують маршрутом.

Аналіз публікацій

Взаємодія між автомобілями є одним з найбільш важливих аспектів, пов'язаних з рухом транспортних потоків. Це може бути взаємодія між автомобілями одного потоку або взаємодія між окремими транспортними потоками. Така взаємодія має місце, коли автомобіль переходить у сусідній ряд, входить у транспортний потік або перетинає його. При взаємодії автомобілів виконання цих основних маневрів пов'язане з поняттям прийнятності інтервалу між автомобілями. Не випадково процес виїзду автомобіля з в'їзду, що прилягає до магістралі, вивчався багатьма дослідниками. Більшість робіт мала емпіричний характер, і на їх основі вироблялися методи проектування та експлуатації дорожніх споруджень. Також були спроби одержати математичний опис процесу виїзду на магістраль, щоправда, вони мали дещо обмежений успіх через складну картину взаємодій між автомобілями. Розв'язання даної задачі також ускладнюється відсутністю точних критеріїв вибору прийнятної відстані між автомобілями та логіки виїзду на магістраль.

Моделювання виїзду автобуса в потік автомобілів належить до класу мікроскопічних моделей. У мікроскопічних моделях, на відміну від макроскопічних, моделювання транспортного потоку проводять із точністю до кожного автомобіля в потоці. Такий підхід дозволяє більш точно описати рух транспортного потоку.

Найбільш поширеною з мікромоделей стала модель «розумного водія» (IDM) [1]. Численні експерименти з цією моделлю показали, що її властивості стійкі до зміни параметрів, вона демонструє реалістичну поведінку при розгоні й гальмуванні та відтворює основні досліджувані властивості транспортного потоку.

З розвитком комп'ютерної техніки широке застосування отримало моделювання на основі моделей клітинних автоматів (СА). У них дорога розбивається на клітки, дискретним також вважається час. Часто, але далеко не завжди [2], вважається, що у клітці може перебувати не більше одного автомобіля. Також часто можливі значення швидкості автомобілів вважають дискретними. Модель СА припускає, що на кожному кроці $m \rightarrow m+1$ стан усіх автомобілів у системі оновлюється відповідно до таких правил:

- прискорення (показує тенденцію рухатися якнайшвидше, не перевищуючи максимально допустимі швидкості);
- гальмування (гарантує відсутність зіткнень з автомобілем, який рухається попереду);
- випадкові збурювання (ураховують відмінності в поведінці автомобілів);
- рух автомобіля.

Наведені правила є базовими, для моделювання більш складних аспектів динаміки потоку необхідно формулювати додаткові правила. Численні експерименти показують, що потік є стійким за малої щільності і втрачає стійкість – за високої. При цьому ключову роль у розвитку нерівноваги відіграє стохастичність процесу, тобто для розвитку заторів потрібно, щоб імовірність затору p не дорівнювала нулю.

При $p = 0$ потік залишається стійким за всіх значень щільності [3]. Дана обставина може розглядатися як серйозний теоретичний недолік моделей СА порівняно з моделями «розумного водія», в яких флуктуації відіграють роль початкового поштовху, а подальший розвиток затору пояснюється нестійкістю (цілком детермінованою) рівноважного розв'язання.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є визначення часу затримки виїзду автобуса із зупинного пункту в потік автомобілів, що рухаються. Для цього необхідно розробити математичний опис процесу виїзду автобуса, який перебуває на зупинці, з урахуванням стохастичного характеру руху автомобілів по магістралі.

Модель затримки виїзду автобуса в потік автомобілів

Дослідженнями встановлено, що для опису потоків порівняно малої інтенсивності, які характеризуються ймовірністю проїзду певного числа транспортних засобів через розріз дороги, можна застосовувати розподіл Пуассона [4]. При цьому якщо поява автомобілів характеризується розподілом Пуассона, то інтервали τ_i між автомобілями розподілені за експонентним законом

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

де $F(t)$ – імовірність того, що $\tau_i \leq t$, $0 \leq F(t) \leq 1$, коли $t > 0$ або $t \in (0; \infty)$, λ – основний параметр розподілу, інтенсивність транспортного потоку, авт./с.

У загальному випадку доцільно припустити, що потік автомобілів, проїжджає повз зупинку, є рекурентним, якщо випадкові величини $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_n$, які утворюють послідовність незалежних однаково розподілених за законом $F(t)$ випадкових величин, показують інтервал часу між сусідніми автомобілями в потоці. Існують три основні події, пов'язані з процесом відправлення автобуса від зупинки:

1. Подія A_0 – припускає, що до моменту t не було жодного автомобіля в русі та на проміжку $(t; t + \tau(v))$ не було жодного автомобіля, що проїхав би біля зупинки.

2. Подія A_n – до моменту t проїхало рівно n автомобілів і на проміжку часу $(t; t + \tau(v))$ проїжджаючих автомобілів біля зупинки немає.

3. Подія B – подія, коли на проміжку часу $(t; t + \tau(v))$ не було автомобілів, які проїжджали би біля зупинки, тобто автобус безперешкодно виїде із зупинного пункту, та при цьому число n автомобілів, що проїхали біля зупинки за час стоянки на ній автобуса, може набути будь-якого натурального значення $n = 0, 1, 2, \dots$ і т.д. Тоді

$$B = \sum_{n=0}^{\infty} A_n. \quad (2)$$

Імовірність настання події B залежить від двох параметрів $(t, \tau(v))$

$$P(t, \tau) = P(B) = P(A_0) + \sum_{n=1}^{\infty} P(A_n), \quad (3)$$

де $P(A_0) = \bar{F}(t + \tau(v))$, $P(A_n) = \bar{F}(t + \tau(v) - x)$.

Імовірність випадкової події A_n зручно знайти, визначивши умовну ймовірність настання цієї події за умови, що $t_n = x$

$$P\{A_n | t_n = x\} = P\{\tau_{n+1} > \tau(v) + t - x\}. \quad (4)$$

Абсолютна імовірність появи події A_n

$$P(A_n) = \int_0^t P\{A_n | t_n = x\} \cdot f_n(x) dx, \quad (5)$$

де $f_n(x)$ – щільність розподілу випадкової величини проїзду останнього автомобіля повз

зупинку перед початком виїзду автобуса, $t_n = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \dots + \tau_n$.

При цьому функція розподілу випадкової величини $t_n = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \dots + \tau_n$ може бути знайдена рекурентно, спираючись на функцію розподілу випадкової величини t_{n-1}

$$F_n(x) = \int_0^x F_{n-1} \cdot (x - y) \cdot f(y) dy, \quad (6)$$

де $f(y)dy$ – щільність розподілу випадкової величини τ_n .

Для знаходження щільності розподілу випадкової величини t_n визначається похідна виразу (6).

$$F_n'(t) = f_n(x) = \int_0^x f_{n-1} \cdot (x - y) \cdot f(y) dy. \quad (7)$$

Тоді

$$\begin{aligned} \sum_{n=0}^{\infty} P(A_n) &= \\ &= P(A_0) + \int_0^t [1 - F(\tau(v) + t - x)] \cdot \sum_{n=1}^{\infty} f_n(x) dx. \end{aligned} \quad (8)$$

Для визначення та інтерпретації $\sum_{n=1}^{\infty} f_n(x)$

необхідно знайти $\sum_{n=1}^{\infty} F_n(x)$. Нехай $v(x)$ – число автомобілів, що проїхали повз зупинний пункт за час x . Тоді

$$F_n(x) = P\{t_n \leq x\} = P\{v(x) \geq n\}; \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{\infty} F_n(x) &= \sum_{n=1}^{\infty} P\{v(x) \geq n\} = \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot P\{v(x) = n\} = \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot p_n = Mv(x), \end{aligned} \quad (10)$$

де $Mv(x)$ – математичне очікування числа автомобілів, що проїхали повз зупинний пункт на проміжку часу $[0, x]$, яке позначається через $H(x)$. При цьому $\sum_{n=1}^{\infty} p_n = 1$, а

$$\sum_{n=1}^{\infty} n \cdot p_n = Mv(x) = H(x).$$

Звідси

$$\sum_{n=1}^{\infty} f_n(x) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n'(x) = H'(x) = h(x), \quad (11)$$

де $h(x)$ – похідна по x від середнього числа автомобілів, що проїхали за час x .

Ймовірність настання події B має вигляд

$$P_t\{\tau\} = P(B) = \bar{F}(t + \tau(v)) + \int_0^t \bar{F}(t + \tau(v) - x) \cdot h(x) dx, \quad (12)$$

де $\bar{F}(t) = 1 - F(t) = P\{\tau_i > t\} = 1 - P\{\tau_i \leq t\}$.

Підстановка (1) в $\bar{F}(t) = 1 - F(t)$, де m_1 – середнє значення інтервалу руху автомобілів, з $m_1 = M_{\tau_i}$ дає

$$\bar{F}(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t}) = e^{-\lambda t}. \quad (13)$$

Вираз (13), підставлений в (12), дає

$$P_t\{\tau\} = e^{-\lambda(t+\tau(v))} + \int_0^t e^{-\lambda(t+\tau(v)-x)} \cdot \lambda dx = e^{-\lambda\tau(v)}. \quad (14)$$

Для визначення імовірності події B (тобто того, що автобус безперешкодно виїде із зупинки) $\lambda = 1/m_1$ підставляється в (14)

$$P(B) = e^{-\tau(v)/m_1}. \quad (15)$$

Для визначення часу очікування виїзду автобуса із карману в рекурентний потік однорідних подій після посадки всіх пасажирів позначається подія $A1\{\zeta_t > \tau(v)\}$ – виїзд автобуса без затримки; при цьому $\tau(v) = \text{const}$, t – момент включення водієм поворотного сигналу для виїзду із зупинного пункту, ζ_t – час очікування появи чергового автомобіля, $\tau(v)$ – час виїзду автобуса.

$A\{\tau_i > \tau(v)\}$ – виїзд автобуса здійснюється після проїзду чергового автомобіля повз зупиночний пункт, де τ_i – інтервал руху автомобілів, $t_{i-2}, t_{i-1}, t_{i+1}$ – моменти проїзду автомобілів повз зупинку. Тоді час виїзду автобуса з урахуванням можливої затримки

$$\tau_{B,3} = \tau(v) \cdot \chi_{A1} + \chi_{\bar{A}1} \cdot (\xi_t + \tau_B), \quad (16)$$

де τ_B – час виїзду з урахуванням затримки від моменту проїзду чергового автомобіля, s ; χ_{A1} – індекс випадкової події $A1$ (подія \bar{A} зворотна події A).

Нехай потік автомобілів, що проїжджають повз зупинку, є найпростішим (Пуассонівським) з параметрами λ , тоді, в силу відсутності післядії, для показового інтервалу найпростішого потоку $\tau_{B,3}$ має такий самий розподіл, як і τ_B , оскільки як ζ_t і τ_i мають один і той самий показовий розподіл. Відповідно $\tau_{B,3} = \tau_B$

$$\tau_B = \tau(v) \cdot \chi_{A1} + \chi_{\bar{A}1} \cdot (\tau_1 + \tau'_B), \quad (17)$$

тоді

$$\begin{aligned} \tau(v) \cdot \chi_{A1} + \chi_{\bar{A}1} \cdot (\xi_t + \tau_B) &= \\ &= \tau(v) \cdot \chi_{A1} + \chi_{\bar{A}1} \cdot (\tau_1 + \tau'_B) \end{aligned} \quad (18)$$

та

$$\tau_B = \begin{cases} \tau(v), P(A) \\ \tau_1 + \tau'_B, P(\bar{A}) \end{cases}, \quad (19)$$

де $\tau'_B = \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n$.

Ймовірність того, що за випадковий час $\tau(v)$ не відбудеться деяка випадкова подія простого потоку з інтенсивністю настання S , є

$$\varphi_{\tau(v)}(S) = M e^{-S\tau(v)}. \quad (20)$$

Оскільки $\tau(v) = \text{const}$, то $M e^{-S\tau(v)} = e^{-S\tau(v)} = \text{const}$. При цьому $a(s) = M e^{-S\tau_B}$ – шукана величина.

Перетворення Лапласа для часу виїзду, з урахуванням затримки автобуса, дає

$$a(s) = e^{-S\tau(v)} \cdot P(A) + b(s) \cdot a(s), \quad (21)$$

де $e^{-S\tau(v)} \cdot P(A)$ – імовірність того, що не відбудеться додаткова подія, якщо виїзд автобуса здійсниться без затримки на першому інтервалі; $b(s) \cdot a(s)$ – імовірність того, що не відбудеться додаткова подія, якщо виїзд автобуса здійсниться не на першому інтервалі; $b(s)$ – імовірність того, що не відбудеться додаткова подія на інтервалі, довжина якого менше $\tau(v)$, тобто $\tau_i < \tau(v)$.

Тоді перетворення Лапласа для часу виїзду, якщо на першому проміжку τ_1 виїзд не відбувся

$$\begin{aligned} b(s) &= M e^{-S(\tau_i | \tau_i < \tau(v))} \cdot P\{\tau_i < \tau(v)\} = \\ &= M (e^{-S\tau_i} \cdot \chi_{\{\tau_i < \tau(v)\}}). \end{aligned} \quad (22)$$

Функція розподілу інтервалу, на якому немає виїзду автобуса

$$F_{\tau(v)}(x) = \int_0^x f_{\tau(v)}(t) dt = \begin{cases} 0, & x < 0; \\ \frac{1 - e^{-\lambda x}}{1 - e^{-\lambda \tau(v)}}, & 0 \leq x \leq \tau(v); \\ 1, & x > \tau(v). \end{cases} \quad (23)$$

Для визначення щільності розподілу інтервалу руху автомобілів отримане вираження інтегрується в інтервалі $0 < x < \tau(v)$

$$f_{\tau(v)}(x) = \begin{cases} \frac{\lambda e^{-\lambda x}}{1 - e^{-\lambda \tau(v)}}, & 0 \leq x \leq \tau(v) \\ 0, & x \notin [0; \tau(v)] \end{cases} \quad (24)$$

Тоді математичне очікування випадкової величини τ_i з параметром $\tau_i < \tau_b$

$$\begin{aligned} M e^{-S(\tau_i | \tau_i < \tau(v))} &= \int_0^{\tau(v)} e^{-Sx} \cdot \frac{\lambda e^{-\lambda x}}{1 - e^{-\lambda \tau(v)}} dx = \\ &= \frac{\lambda}{\lambda + S} \left(\frac{1 - e^{x(\lambda + S)}}{1 - e^{-\lambda \tau(v)}} \right). \end{aligned} \quad (25)$$

Підстановка виразу (25) в $b(s)$, (20) дає

$$b(s) = M e^{S\tau} \chi_{\{\tau_i < \tau(v)\}} = \frac{\lambda}{\lambda + S} (1 - e^{x(\lambda + S)}). \quad (26)$$

Підстановка отриманого виразу в (19) дає

$$\begin{aligned} a(s) &= e^{-S\tau(v)} \cdot e^{-\lambda \tau(v)} + \\ &+ a(s) \cdot \frac{\lambda}{\lambda + S} \cdot (1 - e^{-\tau(v)(\lambda + S)}) = \\ &= \frac{(\lambda + S) e^{-(\lambda + S)\tau(v)}}{S + \lambda e^{-\tau(v)(\lambda + S)}}. \end{aligned} \quad (27)$$

Оскільки

$$(M e^{-sx})'_s = M [e^{-sx} \cdot (-x)] \Big|_{s=0} = -M(x). \quad (28)$$

Аналогічно визначається математичне очікування часу виїзду автобуса після диференціювання виразу (25) у точці нуль

$$a'(s) \Big|_{s=0} = \frac{1}{\lambda} (1 - e^{\tau(v)\lambda}); \quad (29)$$

$$M\tau_a = -a'(0) = \frac{1}{\lambda} (e^{\tau(v)\lambda} - 1). \quad (30)$$

Звідси середній час виїзду автобуса дорівнює

$$T_B^{cp}(v) = \frac{1}{\lambda} (e^{\tau(v)\lambda} - 1). \quad (31)$$

Оскільки

$$T_B^{cp}(v) = \tau(v) + T_3^{cp}, \quad (32)$$

то середній час затримки виїзду автобуса із зупинного пункту можна розрахувати

$$T_3^{cp} = T_B^{cp}(v) - \tau(v) = \frac{1}{\lambda} (e^{\tau(v)\lambda} - 1) - \tau(v). \quad (33)$$

Час виїзду автобуса із зупинки в потік, який рухається зі швидкістю V_n , розраховується так

$$\tau(v) = \frac{V_n}{a}, \quad (34)$$

де a – прискорення автобуса, м/с.

Приклад розрахунку затримки виїзду автобуса в потік автомобілів

Для проведення розрахунку часу затримки виїзду автобуса спочатку необхідно визначити потрібні вихідні дані. Визначення середньої інтенсивності в центральній частині міста Харкова проводилось за допомогою натурних спостережень. Для цього спостерігачі проводили фіксацію на відеокамеру руху транспорту на ділянках вулиць Сумської і Пушкінської. Всього було проведено 40 спостережень на різних ділянках вказаних вулиць. Обстеження проводилось одну годину на кожній з ділянок, які обиралися випадково. При цьому середнє значення інтенсивності руху автомобілів склало 990 авт./год. Як технічний засіб для фіксації параметрів руху маршрутних транспортних засобів у центральній частині м. Харкова був обраний GPS-навігатор. Цей прилад дозволяє одночасно фіксувати поточний час, швидкість і місце розташування транспортного засобу. Для центральної частини міста Харкова є характерною дуже низька швидкість руху маршрутних транспортних засобів, середнє значення якої протягом робочого дня склало 11,2 км/год на вул. Сумській і 14,7 км/год на вул. Пушкінській. Теоретична залежність для безперервного розгону автобуса була отримана за допомогою регресійного аналізу. Статистичні характеристики отриманої моделі мають достатньо високі показники, що дає вагомий підстави для її використання на

практиці та при моделюванні транспортного потоку (табл. 1).

Таблиця 1 Результати регресійного аналізу

Параметри моделі	Значення
Множинний коефіцієнт кореляції, R	0,9157
Коефіцієнт детермінації, R -квадрат	0,839
Нормований R -квадрат	0,832
Стандартна похибка	0,865
Кількість спостережень	27
Коефіцієнти за змінної X_1 (прискорення автобуса, m/c^2)	0,342

За результатами розрахунку за формулою (33) було визначено, що час затримки виїзду автобуса із зупинного пункту на вулиці Сумській в середньому буде дорівнювати 32 с, а на Пушкінській – 42 с. Приклад залежності середнього часу затримки виїзду автобуса з карману зупинного пункту від швидкості транспортного потоку наведений на рис. 1.



Рис. 1. Залежність часу затримки виїзду автобуса із зупинки від швидкості потоку

З рисунка можна побачити, що швидкість зростання функції часу затримки виїзду автобуса із зупинного пункту пропорційна досягнутому значенню в поточній точці.

Висновок

Отримані в результаті натурних спостережень дані про прискорення та швидкість руху маршрутних транспортних засобів мають достатньо високі статистичні характеристики, що створює підґрунтя для поширеного використання регресійних залежностей для оцінки характеристик руху маршрутних тра-

нспортних засобів у загальному транспортному потоці. Розроблена методика оцінки часу затримки виїзду автобуса з карману зупинного пункту дозволяє оцінювати доцільність розташування зупинних пунктів на регіонах транспортної мережі та може бути використана для скорочення обсягів натурних спостережень за транспортним потоком при вирішенні питань взаємодії між маршрутними та іншими транспортними засобами в потоці.

Література

1. Treiber M. Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations / M. Treiber, A. Hennecke, D. Helbing // *Phys. Rev. E.* – 2000. – № 62. – P. 1805–1824.
2. Куржанский А.А. Роль макромоделирования в активном управлении транспортной сетью / А.А. Куржанский, А.Б. Куржанский, П. Варайя // *Труды МФТИ.* – 2010. – Т. 2, № 4(8). – С. 100–118.
3. Nagel K. Deterministic models for traffic jams / K. Nagel, H. J. Herrmann // *Physica A.* – 1993. – № 199. – P. 254–269.
4. Хейг Ф. Математическая теория транспортных потоков / Ф. Хейг. – М.: Мир, 1966. – 284 с.

References

1. Treiber M., Hennecke A., Helbing D. Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations. *Phys. Rev. E.*, 2000, vol. 62. pp. 1805–1824.
2. Kurzhanskiy A.A., Kurzhanskiy A.B., Varayya P. Rol makromodelirovaniya v aktivnom upravlenii transport-noy setyu. *Trudyi MFTI*, 2010, iss. 2, vol. 4(8). pp. 100–118.
3. Nagel K., Herrmann H.J. Deterministic models for traffic jams. *Physica A.*, 1993, vol. 199. pp. 254–269.
4. Heyg F. *Matematicheskaya teoriya transportnyih potokov.* Moscow, Mir Publ., 1966. 284 p.

Рецензент: Є.В. Нагорний, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 26 листопада 2014 р.

УДК 656.025

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ТА ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ У МОДЕЛЯХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕСУВАНЬ

Є.Ю. Форнальчик, проф., д.т.н., А.Б. Білоус, доц., к.т.н., І.А. Демчук, асп.,
Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. Проаналізовано результати застосування «м'яких» методів обчислення попиту населення на пересування у містах та наведено основні переваги їх використання.

Ключові слова: нечітка логіка, генетичний алгоритм, система нечіткого висновку, кореспонденції пересувань.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В МОДЕЛЯХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕДВИЖЕНИЙ

Е.Ю. Форнальчик, проф., д.т.н., А.Б. Билоус, доц., к.т.н., И.А. Демчук, асп.,
Национальный университет «Львовская политехника»

Аннотация. Проанализированы результаты применения «мягких» методов вычисления спроса населения на передвижения в городах и приведены основные преимущества их использования.

Ключевые слова: нечеткая логика, генетический алгоритм, система нечеткого вывода, корреспонденции передвижений.

APPLICATION OF THE FUZZY LOGIC AND GENETIC ALGORITHMS IN THE MODELS OF PASSENGER TRAFFIC

Y. Fornalchuk, Prof., D. Sc. (Eng.), A. Bilous, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
I. Demchuk, P. G., Lviv Polytechnic National University

Abstract. Analysis of the results of the theory of fuzzy logic and the genetic algorithms to determine the correspondence of passenger traffic in cities is presented. The advantageous aspects of using the “soft” methods of estimation are revealed. It was established that they require further study and improvement to be further use in the practice of passenger movement.

Key words: fuzzy logic, genetic algorithm, fuzzy inference system, correspondence movement.

Вступ

Відповідно до традиційного підходу визначення транспортного попиту процес транспортного планування складається з чотирьох етапів [1, 2]: визначення обсягів пересувань (trip generation); визначення кореспонденцій пересувань (trip correspondence); розподіл кореспонденцій за типом пересування (modal split); розподіл кореспонденцій за шляхом пересувань (network assignment).

Одним із потужних за трудомісткістю розрахунків є етап визначення обсягів кореспонденцій пересувань. Результати обчислень на цьому етапі є початковими даними для останніх двох і характеризують шаблон мобільності на території проектування у просторовому та кількісному вимірах.

Для визначення кореспонденцій пересувань застосовуються моделі з різними підходами. У плані мінімізації необхідних ресурсів для збору початкових даних та простоти вико-

нання розрахунків виділяються, з-поміж інших, моделі визначення обсягів пересувань із застосуванням нечіткої логіки. За структурою такі моделі являють собою «чорну скриньку», яка дозволяє швидко видавати сформовані початкові дані та отримувати результати [3].

Аналіз публікацій

У 1977 році науковці Паппіс та Мамдані опублікували свої перші роботи, в яких за допомогою методу нечіткої логіки вирішувались транспортні проблеми міст [4]. У середині та наприкінці 1980-х років група японських вчених зробила істотний внесок до використання теорії нечіткого вибору у транспортному русі й у процесі перевезення пасажирів [5–9]. Вони розв'язали комплексне транспортне завдання, вказавши на великий потенціал використання теорії нечіткого вибору. Наприкінці 1980-х на початку 1990-х років ця теорія для вирішення проблем транспортного планування почала інтенсивно використовуватись і у дослідженнях вчених американських університетів. Заслужують на увагу роботи дослідної команди Делаверського університету, очолюваної професором Шинья Кікучі [10–14]. На початку і в середині 1990-х років підвищилась зацікавленість щодо використання нечіткої логіки у вирішенні транспортних проблем і в інших провідних університетах світу [15, 16].

Мета і постановка завдання

З урахуванням викладеного та стану питання у вітчизняній науці і практиці щодо розв'язання проблеми з пасажирськими перевезеннями у великих і значних містах, метою у цій роботі є встановлення переваг застосування «м'яких» методів обчислень для визначення кореспонденцій пересувань населення.

Застосування нечіткої логіки та генетичних алгоритмів для визначення обсягів кореспонденцій пересувань

Підхід до визначення кореспонденцій пересувань за допомогою нечіткої логіки розглядається у працях Каліс і Теодорович [17, 18]. Автори оцінили повітряні пасажирські потоки між обраними головними промисловими містами і туристичними курортами, викорис-

товуючи дані генерування та поглинання поїздок як початкові дані.

В іншій статті [19] вчені вдосконалили попередні розробки, досягнувши кращих результатів із застосуванням системи генетичних нечітких правил. Розроблена ними модель складається з двох частин. У першій генерується база нечітких правил, які використовуються для визначення кількості поїздок між окремими зонами. Отримана база нечітких правил має відповідну точність щодо відповідності між розрахунковими і реальними пасажиропотоками. У другій частині моделі, з метою збільшення рівня точності, початкова база нечітких правил модифікується за допомогою генетичного алгоритму. Запропонована модель прогнозує пасажиропотоки між великими промисловими містами та туристичними курортами.

У роботі надано графічні порівняння та статистичний аналіз реальних значень та значень вихідних змінних, отримані запропонованими методами. За результатами дослідження із загальної кількості 18 пар зон у 13 випадках відбулося прогнозування із заданою точністю [19]. Отримане вказує на те, що «м'які» методи обчислень можуть використовуватися для прогнозування попиту на перевезення пасажирів. У статті Каліс та Кульджанін описано підхід до моделювання обсягів та кореспонденцій поїздок за допомогою нечіткої логіки [20]. Вчені вважають, що для правильного опису потоків між двома країнами слід розглянути такі чинники, як рівень торгівлі (експорт та імпорт товарів), міграція трудових потоків, історичні відносини, рівень туристичної привабливості тощо. Запропонована ними модель розподілу поїздок така: пасажиропотоки від країни генерування поїздок в інші країни визначаються відповідно до кількості емігрантів, імпорту та тяжіння із застосуванням нечіткої логіки. Розроблена модель використовувалась для визначення пасажиропотоків між Сербією і 14 іншими обраними країнами. Отримані результати свідчать про дуже близьку відповідність реальних і оцінених моделюванням значень пасажирських потоків, а також про доцільність застосування таких моделей у визначенні кореспонденцій пересувань пасажирів.

Трифазна система нечіткого висновку була запропонована Джассбі у 2011 році для відо-

браження соціальних і демографічних змін, які впливають на загальну кількість пересувань між парами зон «походження – призначення» [21]. Головна мета роботи – максимально наблизити функцію належності, що відображає змінні генерування і поглинання поїздок, до реальної кількості пересувань між двома обраними районами. Для відображення вхідного простору даних у вихідний використовувались три незалежні системи нечіткого висновку [21] (рис. 1). Перша система спрямована на відображення змінних генерування пересувань до кількості загальних пересувань для досліджуваного регіону (G_i). Друга призначена для відображення змінних поглинання пересувань до кількості здійснених пересувань для цього ж регіону (A_j). Третя система нечіткого висновку об'єднує вихідні дані першої та другої систем для агрегації двох регіонів G_i та A_j і обчислення загальної кількості пересувань між ними (T_{ij}).

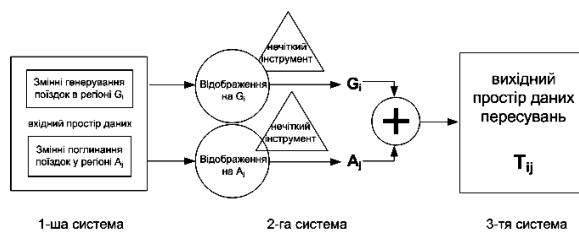


Рис. 1. Комплексна система нечітких висновків у моделі кореспонденції пересувань

Отримані результати показують, що запропонована логічна структура на основі системи нечіткого висновку може успішно використовуватися для визначення розподілу пересувань. У роботі Медіна та Спеса [22] за допомогою генетичного алгоритму (ГА) вирішується проблема оптимізації туристичних розподільних мереж. Автори докладно описують восьмиступінчасту процедуру розробки ГА [23] для вирішення проблеми розподілу кореспонденції пересувань пасажирів для аеропорту в м. Аліканте та 30 туристичних напрямків у Північній Африці і Західній Європі. Розроблений авторами алгоритм був реалізований у Visual BASIC для використання на персональному комп'ютері. Отримані результати вказують на раціональність застосування ГА у поєднанні з ручними рішеннями для розв'язання завдань розподілу пасажирських пересувань. Виділено і такі

сторони ГА, як гнучкість та здатність адаптуватися до змінних умов середовища.

Гоел та інші [24] розробили модель розподілу пересувань на основі генетичного алгоритму на прикладі міста Делі. Модель формується таким чином

$$F_{ij} = \{P_i, A_j, C_{ij}\},$$

де F_{ij} – розподіл пересувань (кореспонденції); P_i – загальна кількість пересувань, що генерується у зоні i ; A_j – загальна кількість пересувань, поглинута зоною j ; C_{ij} – вартість пересування пасажирів із зони i у зону j ; i – кількість зон походження пересувань; j – кількість зон призначення пересувань.

Результати моделювання порівнювались з результатами, отриманими за допомогою лінійного програмування. Встановлено, що лінійне програмування вказує на неможливість вирішення складних проблем оптимізації (9 із 81 кореспонденції) у той час, коли вони успішно розв'язуються (76 із 81 кореспонденції) моделями із застосуванням ГА (табл. 1).

Таблиця 1 Порівняння результатів моделювання розподілу пасажирських пересувань

Проблеми та результати їх розв'язання	Моделі із застосуванням лінійного програмування	Модель розподілу поїздок із застосуванням ГА
Статус рішення	неможливе	можливе
Кількість результатів (81 кореспонденція)	9	76

У 2013 році Компіл і Челік розробили модель розподілу пересувань із використанням системи генетичних нечітких правил (СГНП) [25]. За попередньо проаналізованими дослідженнями в області застосування нечіткої логіки та генетичного алгоритму, системи нечітких правил можуть використовуватися для ефективного вирішення проблем розподілу пересувань, а поєднання їх із генетичним алгоритмом дають можливість отримати адекватніші результати. Слід зазначити, що нечіткі системи та системи із застосуванням генетичного алгоритму є альтернативою до традиційних гравітаційних моделей та моделей нейронних мереж у моделюванні розподілу пасажирських пересувань.

Висновки

У моделях розподілу пасажирських пересувань із застосуванням нечіткої логіки використовується «ефект навчання», який дає змогу моделі під час виконання розрахунків змінювати свої параметри з метою підлаштування під реальні взаємозалежності. У цьому позитивному ефекті криється й основний недолік, зокрема певна суб'єктивність у виборі параметрів функцій належності. Математичний апарат генетичних алгоритмів дозволяє звести до мінімуму втручання у процес налаштування параметрів моделі та створити його за принципом змагання. Генетичні алгоритми дають змогу відсіювати гірші результати параметрів моделі та виробляти кращі у процесі функціонування транспортних систем і пасажирських перевезень.

Зважаючи на викладене, алгоритми визначення обсягів кореспонденцій із застосуванням теорії нечіткої логіки в парі з генетичними алгоритмами пошуку оптимальних параметрів можуть успішно застосовуватись у моделях визначення обсягів кореспонденцій пересувань. Використання їх забезпечить точніші результати розрахунків у визначенні транспортного попиту.

Література

- Norbert Oppenheim Urban Travel Demand Modeling / Oppenheim Norbert. – John Wiley and Sons, 1995. – 480 p.
- Швецов В.И. Проблемы моделирования передвижений в транспортных сетях / В.И. Швецов // Труды МФТИ. – 2010. – Том 2, №4. – С. 169–179.
- Білоус А.Б. Аналіз методів та моделей розрахунку обсягу пасажирських кореспонденцій / А.Б. Білоус, І.А. Демчук // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – 3/3(69). – С. 53–57.
- Pappis C. A fuzzy controller for a traffic junction / C. Pappis, E. Mamdani // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics SMC-7, 1977. – P. 707–717.
- Nakatsuyama M. Fuzzy logic phase controller for traffic functions in the one-way arterial road / M. Nakatsuyama, N. Nagahashi, N. Nishizuka // Proceedings IFAC 9th Triennial World Congress: Pergamon Press. – Oxford, 1983. – P. 2865–2870.
- Sugeno M. Fuzzy control of model car / M. Sugeno, M. Nishida // Fuzzy Sets and Systems. – 1985. – Vol. 16. – P. 103–113.
- Sasaki T. Development of fuzzy traffic control system on urban expressway / T. Sasaki, T. Akiyama // Preprints 5th IFAC/IFIP/IFORS International Conference in Transportation Systems, 1986. – P. 333–338.
- Sasaki T. Fuzzy on-ramp control model on urban expressway and its extension / T. Sasaki, T. Akiyama; In Gartner, N.H., Wilson, N.H.M. (Eds.) // Transportation and traffic theory. Elsevier Science. – New York, 1987. – P. 377–395.
- Sasaki T. Traffic control process of expressway by fuzzy logic / T. Sasaki, T. Akiyama // Fuzzy Sets and Systems. – 1988. – Vol. 26. – P. 165–178.
- Kikuchi S. Scheduling demand-responsive transportation vehicles using fuzzy-set theory / S. Kikuchi // Journal of Transportation Engineering. – 1992. – Vol. 118. – P. 391–409.
- Kikuchi S. Characteristics of the fuzzy LP transportation problem for civil engineering applications / S. Kikuchi, N. Vukadinovic, S. Easa // Civil Engineering Systems. – 1991. – Vol. 8. – P. 134–144.
- Perincherry V. Application of fuzzy set theory to linear programming / V. Perincherry // MSc. thesis. – Newark: University of Delaware, 1990. – P. 56–59.
- Teodorovic D. Transportation route choice model using fuzzy inference technique / D. Teodorovic, S. Kikuchi; In: Ayyub, B.M. (Ed.) // Proceedings of ISUMA'90, The First International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis: IEEE Computer Press. – Maryland: College Park, 1990. – P. 140–145.
- Teodorovic D. Application of fuzzy sets theory to the saving based vehicle routing algorithm / D. Teodorovic, S. Kikuchi // Civil Engineering Systems. – 1991. – Vol. 8. – P. 87–93.
- Darshana O. Application Of Fuzzy Logic And Genetic Algorithm In Trip Distribution / O. Darshana, M. Tech // International journal of engineering development and research (IJEDR). – 2011. – P. 52–54.
- Teodorovic D. Fuzzy logic systems for transportation engineering: the state of the art // Transportation Research: Part A. – 1999. – Vol. 33. – P. 337–364.

17. Kalic M. Solving the trip distribution problem by fuzzy rules generated by learning from examples / M. Kalic, D. Teodorovic // Proceedings of the XXIII Yugoslav Symposium on Operations Research. – Zlatibor, Yugoslavia, 1996. – P. 777–780: (in Serbian).
18. Kalic M. Trip distribution modeling using soft computing techniques / M. Kalic, D. Teodorovic // Paper presented at the EURO XV/INFORMS XXXIV: Book of abstracts. – Barcelona, 1997. – P. 74.
19. Kalis M. Trip distribution modeling using fuzzy logic and a genetic algorithm / M. Kalis, D. Teodorovic // Transportation Planning and Technology. – 2003. – Vol. 26, № 3. – P. 213–238.
20. Kalić M. Air Travel Demand Fuzzy Modelling: Trip Generation and Trip Distribution: Online Conference on Soft Computing in Industria Applications Anywhere on Earth / M. Kalić, J. Kuljanin and S. Dožić. – 2012. – December. – P. 10–21.
21. Jassbi J. Soft system modeling in transportation planning: Modeling trip flows based on the fuzzy inference system approach / J. Jassbi, P. Makvandi, M. Ataei, A.S. Sousa Pedro // African Journal of Business Management. – 2011. – Vol. 5(2). – P. 505–514.
22. Medina J. Optimization of touristic distribution networks using genetic algorithms / J. Medina, V. Yepes // SORT. – 2003. – 27 (1) January-June. – P. 95–112.
23. Medina J. Algoritmos geneticos para la optimizacion de redes de distribucion: (in Spanish) // Actas del Congreso Panamericano de Ingenieria de Transito y Transporte. – Santander: Ministerio de Forento (Spain), 1998. – P. 339–347.
24. Goel S. Trip Distribution Model for Delhi Urban Area Using Genetic Algorithm / S. Goel, J. Singh, K. Ashok // International Journal of Computer Engineering Science (IJCES). – 2012. – Vol. 2 (3). – P. 125–131.
25. Kompil M. Modelling trip distribution with fuzzy and genetic fuzzy systems / M. Kompil, H. Celik // Transportation Planning and Technology. – 2013. – Vol. 36 (2). – P. 170–200.
2. Shvetsov V.Y. Problemyi modelirovaniya peredvizheniy v transportnyih setyah [Problems of modeling of movement in transport networks]. *Trudyi MFTI - Proceedings of MIPT*, 2010, vol. 2, № 4, pp. 169–179 [in Rus.].
3. Bilous A.B., & Demchuk I.A. Analiz metodiv ta modeley rozrakhunku obsyahu pasazhyrs'kykh korespondentsiy. Analysis of calculation methods and models of passenger correspondence. *Skhidno-Yevropeys'kyi zhurnal peredovykh tekhnolohiy - East European Journal of advanced technologies*, 2014, vol. 3/3(69). pp. 53–57 [in Ukr.].
4. Pappis C.A., Mamdani E. fuzzy controller for a traffic junction. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics SMC-7*, 1977. pp. 707–717.
5. Nakatsuyama M., Nagahashi N., Nishizuka N. Fuzzy logic phase controller for traffic functions in the one-way arterial road. *Proceedings IFAC 9th Triennial World Congress: Pergamon Press*. Oxford, 1983. pp. 2865–2870.
6. Sugeno M., Nishida M. Fuzzy control of model car. *Fuzzy Sets and Systems*, 1985, vol. 16. pp. 103–113.
7. Sasaki T., Akiyama T. Development of fuzzy traffic control system on urban expressway. *Preprints 5th IFAC/IFIP/IFORS International Conference in Transportation Systems*, 1986. pp. 333–338.
8. Sasaki T., Akiyama T. Fuzzy on-ramp control model on urban expressway and its extension. In Gartner, N.H., Wilson, N.H.M. (Eds.). *Transportation and traffic theory*. Elsevier Science, 1987. pp. 377–395.
9. Sasaki T., Akiyama T. Traffic control process of expressway by fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems*, 1988, vol. 26. pp. 165–178.
10. Kikuchi S. Scheduling demand-responsive transportation vehicles using fuzzy-set theory. *Journal of Transportation Engineering*, 1992, vol. 118. pp. 391–409.
11. Kikuchi S., Vukadinovic N., Easa S. Characteristics of the fuzzy LP transportation problem for civil engineering applications. *Civil Engineering Systems*, 1991, vol. 8. pp. 134–144.
12. Perincherry V. Application of fuzzy set modeling theory to linear programming. *MSc. thesis*. Newark: University of Delaware, 1990. pp. 56–59.

References

1. Norbert Oppenheim Urban Travel Demand Modeling. John Wiley and Sons Publ., 1995. 480 p.

13. Teodorovic D. Kikuchi S.; In: Ayyub, B.M. (Ed.) Transportation route choice model using fuzzy inference technique. *Proceedings of ISUMA'90. The First International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis: IEEE Computer Press. Maryland: College Park, 1990.* pp. 140–145.
14. Teodorovic D., Kikuchi S. Application of fuzzy sets theory to the saving based vehicle routing algorithm. *Civil Engineering Systems*, 1991, vol. 8. pp. 87–93.
15. Darshana O., Tech M. Application Of Fuzzy Logic And Genetic Algorithm In Trip Distribution. *International journal of engineering development and research (IJEDR)*, 2011. pp. 52–54.
16. Teodorovic D. Fuzzy logic systems for transportation engineering: the state of the art. *Transportation Research: Part A*, 1999, vol. 33. pp. 337–364.
17. Kalic M., Teodorovic D. Solving the trip distribution problem by fuzzy rules generated by learning from examples. *Proceedings of the XXIII Yugoslav Symposium on Operations Research. Zlatibor, Yugoslavia, 1996.* pp. 777–780 (in Serbian).
18. Kalic M., Teodorovic D. Trip distribution modeling using soft computing techniques. *Paper presented at the EURO XV/INFORMS XXXIV: Book of abstracts. Barcelona, 1997.* p. 74.
19. Kalis M., Teodorovic D. Trip distribution modeling using fussy logic and a genetic algorithm. *Transportation Planning and Technology*, 2003, vol. 26, no 3. pp. 213–238.
20. Kalić M., Kuljanin J. and Dožić S. Air Travel Demand Fuzzy Modelling. *Trip Generation and Trip Distribution: Online Conference on Soft Computing in Industria Applications Anywhere on Earth, 2012, December.* pp.10–21.
21. Jassbi J., Makvandi P., Ataei M., Sousa Pedro A.S. Soft system modeling in transportation planning: Modeling trip flows based on the fuzzy inference system approach. *African Journal of Business Management*, 2011, vol. 5 (2). pp. 505–514.
22. Medina J., Yepes V. Optimization of touristic distribution networks using genetic algorithms. *SPORT*, 2003, 27 (1) January–June. pp. 95–112.
23. Medina J. Algoritmos geneticos para la optimizacion de redes de distribucion: (in Spanish). *Actas del Congreso Panamericano de Ingenieria de Transito y Transporte. Santander: Ministerio de Forento (Spain), 1998.* pp. 339–347.
24. Goel S., Singh J., Ashok K. Trip Distribution Model for Delhy Urban Area Using Genetic Algorithm. *International Journal of Computer Engineering Science (IJCES)*, 2012, vol. 2 (3). pp. 125–131.
25. Kompil M., Celik H. Modelling trip distribution with fuzzy and genetic fuzzy systems. *Transportation Planning ang Technology*, 2013, vol. 36 (2). pp. 170–200.

Рецензент: П.Ф. Горбачов, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 13 серпня 2014 р.

УДК 656.13

ЗАДАЧА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПЕРЕХВАТЫВАЮЩИХ ПАРКИНГОВ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ

**Е.М. Гецович, проф., д.т.н., О.А. Холодова, доц., к.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,
В.В. Шелудченко, доц., к.т.н., Сумской национальный аграрный университет**

Аннотация. Обосновывается последовательное определение основных задач проектирования системы перехватывающих паркингов с целью усовершенствования транспортных систем центральных деловых частей мегаполисов.

Ключевые слова: центральная деловая часть мегаполиса, система перехватывающих паркингов, зона обслуживания, ротация автомобилей, подвижной состав, кольцевой маршрут.

ЗАДАЧА ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ПЕРЕХОПЛЮЮЧИХ ПАРКІНГІВ У ВЕЛИКИХ МІСТАХ

Є.М. Гецович, проф., д.т.н., О.О. Холодова, доц., к.т.н., Харківський національний автомобільно-дорожній університет, В.В. Шелудченко, доц., к.т.н., Сумський національний аграрний університет

Анотація. Обґрунтовується послідовне визначення основних задач проектування системи перехоплюючих паркінгів з метою удосконалення транспортних систем центральних ділових частин мегаполісу.

Ключові слова: центральна ділова частина мегаполісу, система перехоплюючих паркінгів, зона обслуговування, ротация автомобілів, рухомий склад, кільцевий маршрут.

THE PROBLEM OF INTERCEPTING PARKING SYSTEMS DESIGN IN CITIES

**E. Hetsovych, Prof., D. Sc. (Eng.), O. Kholodova, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
Kharkiv National Automobile and Highway University, V. Sheludchenko, Assoc. Prof.,
Ph. D. (Eng.), Sumy National Agrarian University**

Abstract. Consistent determination of the main problems concerning the system of intercepting parking – lot design with the purpose of transport systems improvement downtown is grounded. The given approach allows to fully satisfy the demand for parking-lots of urban transport systems in combination with the system of downtown parkings and the capacity of the highway network.

Key words: downtown, the system of intercepting parking, service area, vehicles rotation, rolling-stock, circular route.

Введение

Острое противоречие между удовлетворением спроса на проезд и спроса на парковку в центральных деловых частях мегаполисов (ЦДЧМ), обусловленное высокой концентрацией в ЦДЧМ центров транспортного тяготения и присущей ЦДЧМ плотной и стесненной улично-дорожной сетью, определяет

степень напряжения в работе транспортных систем ЦДЧМ.

Попытки снизить напряженность в работе транспортных систем ЦДЧМ путем введения различных запретов и ограничений приводят к снижению деловой активности и, как следствие, к экономическому ущербу.

При всем разнообразии мероприятий, которые направлены на решение транспортных проблем в центральных частях мегаполисов, все еще актуален вопрос удовлетворения населения в парковании.

Анализ публикаций

Во многих крупных городах в последние десятилетия создаются системы перехватывающих паркингов (СПП) [1–6]. Идея СПП заключается в том, что на значительном расстоянии от ЦДЧМ, как правило, вблизи основных условно-радиальных магистралей, значительно проще найти площадки для размещения паркингов наземного типа достаточной вместимости. При этом предполагается, что большая вместимость и сравнительно низкая, по сравнению с ЦДЧМ, стоимость земли и строительства обеспечат относительно невысокий тариф за парковку и, как следствие, привлекательность СПП для пользователей.

Предыдущими исследованиями показано [3], что частично спрос на парковку в ЦДЧМ может быть удовлетворен за счет вместимости улично-дорожной сети и системы внутренних (расположенных в ЦДЧМ) паркингов [3]. Что же касается перехватывающих паркингов, то, при всей их привлекательности, подход к их проектированию носит “эвристический” характер, а их комплексные методики определения всех параметров и характеристик СПП на стадии проектирования отсутствуют.

Цель и постановка задачи

Цель работы заключается в обосновании подхода к формированию такой системы перехватывающих паркингов в крупных городах, которая бы удовлетворила потребности центров тяготения центральной деловой части в парковочных местах.

Формирование системы перехватывающих паркингов

При проектировании СПП необходимо последовательно решить такие задачи:

1. Определить количество и расположение зон обслуживания в ЦДЧМ системой перехватывающих паркингов.

2. Определить для каждой зоны обслуживания минимально необходимое число автомобилей – мест в СПП.

3. Определить возможное количество и расположение паркингов в СПП.

4. Определить постоянную (на весь рабочий день) и переменную (на несколько часов) составляющие в суммарной вместимости каждого паркинга.

5. Определить величину и время ротации автомобилей для каждого паркинга.

6. Определить пассажиропоток (чел./час) для каждого паркинга.

7. Выбрать тип и вместимость подвижного состава, обслуживающего клиентов паркинга.

8. Спроектировать маршрут движения обслуживающего транспорта.

Методы решения первой и второй задач разработаны и апробированы [3]. Разработан программный продукт [3], позволяющий автоматизировать процесс решения этих задач.

Третья задача может быть решена, например, экспертным способом с учетом топографии и особенностей застройки города в зонах вдоль условно-радиальных магистралей. При этом должен быть учтен ряд условий. Первое условие имеет вид

$$\sum_{i=1}^n N_{Pi} \geq \sum_{j=1}^m N_{зHj}, \quad (1)$$

где N_{Pi} – максимальная вместимость i -го паркинга; n – общее число перехватывающих паркингов; $N_{зHj}$ – потребность j -й зоны, не обслуженной системой внутренних паркингов; m – общее число необслуженных зон.

Вторым условием является соображение о том, что зону обслуживания, ближайшую к зоне входа j -й условно-радиальной магистрали, следует привязывать к паркингу (или нескольким паркингам), расположенным вдоль данной магистрали. Это условие может быть записано в виде

кольцевую часть маршрута целесообразно проложить по наиболее широким перегонам, что облегчит проезд и сократит время на маршруте, а значит, и необходимое количество единиц ПС. Остановки следует планировать вблизи крупных торговых или развлекательных центров, офисных зданий и т.п., но не реже чем через 400–500 м.

Вывод

Предложенный подход и последовательное решение сформулированных задач к определению основных параметров СПП, в отличие от известных, позволяет полностью удовлетворить потребность в местах парковки транспортных систем городов в сочетании с системой внутренних паркингов и вместимостью улично-дорожной сети.

Литература

1. Кирзнер Ю.С. Об основах теории городского пассажирского транспорта / Ю.С. Кирзнер // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния. – 2001. – С. 16–22.
2. Петрович М.Л. Предложения по устройству перехватывающих стоянок на подходах к центральным районам Санкт-Петербурга: материалы XII Международной (пятнадцатой екатеринбургской) научно-практической конференции / М.Л. Петрович, Ю.С. Кирзнер. – 2006. – С. 47–52. – Режим доступа: www.waksman.ru.
3. Холодова О.О. Формування систем паркінгів в центральних ділових частинах великих та найбільших міст: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / Холодова Ольга Олександрівна, 2013. – 24 с.
4. Холодова О.О. Щодо питання удосконалення паркування центрів транспортно-го тяжиння в центральній діловій частині міста / О.О. Холодова, Д.О. Музыльов // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів: науковий журнал, 2014. – С. 152–160.
5. Шештокас В.В. Город и транспорт / В.В. Шештокас. – М.: Стройиздат, 1984. – 176 с.
6. Справочник по безопасности дорожного движения / под ред. проф. В.В. Силья-

- нова. – Осло – Москва – Хельсинки, 2001. – 774 с.
7. Осетрін М.М., Стельмах О.В. Дослідження параметрів роботи стоянки легкових автомобілів / М.М. Осетрін, О.В. Стельмах // Містобудування та територіальне планування. – 2001. – № 9. – С. 132–138.
 8. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов / Е.М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
 9. Ефремов В.С. Теория городских пассажирских перевозок: учеб. пособие для вузов / В.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. – М.: Высшая школа, 1980. – 535 с.
 10. Спиринов И.В. Перевозки пассажиров городским транспортом: справочное пособие / И.В. Спиринов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 412 с.
 11. Ларин О.Н. Организация пассажирских перевозок: учебное пособие / О.Н. Ларин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 104 с.

References

1. Kirzner Ju.S. Ob osnovah teorii gorodskogo passazhirskogo transporta. *Social'no-jekonomicheskie problemy razvitija transportnyh sistem gorodov i zon ih vlijaniya*, 2001. pp. 16–22.
2. Petrovich M.L., Kirzner Ju.S. Predlozhenija po ustrojstvu perehvatyvajushih stojanok na podhodah k central'nym rajonom Sankt-Peterburga. Materialy XII mezhdunarodnoj (pjatnadcatoj ekaterinburgskoj) nauchno-prakticheskoj konferencii, 2006. pp. 47–52. Available at: www.waksman.ru.
3. Holodova O.O. *Formuvannja system parkyngiv v central'nyh dilovyh chastynah velykyh ta najbil'shyh mist*. Avtoref. dys. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk: spec. 05.22.01 «Transportni systemy», 2013. 24 p.
4. Holodova O.O., Muzyl'ov D.O. Shhodo pytannja udoskonalennja parkuvannja centriv transportnogo tjazhinnja v central'nij dilovij chastyni mista. *Tehnichnyj servis agropromyslovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv: Naukovyj zhurnal*, 2014. pp. 152–160.
5. Sheshtokas V.V. Gorod i transport. Moscow, Strojizdat Publ., 1984. 176 p.

6. Spravochnik po bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija (ed. prof. V.V. Sil'janov). – Oslo – Moskva – Hel'sinki, 2001. 774 p.
7. Osjetrin M.M., Stel'mah O.V. Doslidzhenija parametriv roboty stojanky legkovyh avtomobiliv. *Mistobuduvannja ta terytorial'ne planuvannja*, 2001, vol. 9. pp. 132–138.
8. Lobanov E.M. Transportnaja planirovka gorodov. Moskow, Transport Publ., 1990. 240 p.
9. Efremov B.C., Kobozev V.M., Judin V.A. Teorija gorodskih passazhirskih perevozok: uceb, posobie dlja vuzov. Moskow, Vysshaja shkola Publ., 1980. 535 p.
10. Spirin I.V. Perevozki passazhirov gorodskim transportom: Spravochnoe posobie. Moskow, ИКС «Академкнига», Publ., 2004. 412 p.
11. Larin O.N. Organizacija passazhirskih perevozok: ucebnoe posobie. Cheljabinsk: JuUrGU Publ., 2005. 104 p.

Рецензент: П.Ф. Горбачов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 3 ноября 2014 г.

УДК 656.072

ОБОСНОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА РЕСПОНДЕНТОВ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ВЫБОРА ПАССАЖИРОМ ПУТИ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ В МАРШРУТНОЙ СИСТЕМЕ ГОРОДА

П.Ф. Горбачев, проф., д.т.н., А.В. Макаричев, доц., к.ф.-м.н.,
С.В. Пронин, доц., к.т.н., О.В. Свичинская, асп.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Предложен способ расчета достаточного количества анкет при проведении обследований с целью получения фактических значений частоты использования альтернативных вариантов пути для построения функции полезности передвижения на основе допустимой величины относительной погрешности коэффициентов функции полезности.

Ключевые слова: респондент, выборка, путь передвижения, альтернатива, функция полезности, уравнение регрессии, коэффициент.

ОБҐРУНТУВАННЯ КІЛЬКОСТІ РЕСПОНДЕНТІВ ДЛЯ ОБСТЕЖЕННЯ ВИБОРУ ПАСАЖИРОМ ШЛЯХУ ПЕРЕСУВАННЯ В МАРШРУТНІЙ СИСТЕМІ МІСТА

П.Ф. Горбачов, проф., д.т.н., О.В. Макаричев, доц., к.ф.-м.н.,
С.В. Пронін, доц., к.т.н., О.В. Свічинська, асп.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Запропоновано спосіб розрахунку достатньої кількості анкет при проведенні обстежень з метою отримання фактичних значень частоти використання альтернативних варіантів шляху для побудови функції корисності пересування на основі допустимої величини відносної похибки коефіцієнтів функції корисності.

Ключові слова: респондент, вибірка, шлях пересування, альтернатива, функція корисності, рівняння регресії, коефіцієнт.

JUSTIFICATION OF THE NUMBER OF RESPONDENTS FOR CONDUCTING A SURVEY OF PASSENGER ROUTE CHOICE IN THE CITY ROUTE SYSTEM

P. Gorbachov, Prof., D. Sc. (Eng.), A. Makarichev, Assoc. Prof., Ph. D. (Phys. & Math.),
S. Pronin, Assoc. Prof., Ph. D. Sc. (Eng.), O. Svichinskaya, P. G.,
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. An approach for determining the sufficient number of respondents whose route choice should be investigated in order to model the passenger route choice in a city route system is developed. The approach allows to assign the acceptable value of the relative error of parameters when defining the utility function.

Key words: respondent, sample, route, alternative, utility function, regression, coefficient.

Введение

В любом научном исследовании вопрос о степени его эффективности всегда остается актуальным. Каждый научный работник в

ходе исследований обязательно проходит этап планирования и проведения эксперимента, качество и эффективность которого зависят не только от наличия материальной базы, но и от уровня его организации [1].

Именно правильная организация экспериментальной части исследования позволяет получать наиболее ценную информацию при минимуме трудовых, материальных и временных затрат.

При планировании работы городского пассажирского транспорта (ГПТ) всегда возникает вопрос прогнозирования спроса на услуги тех или иных его видов или отдельных маршрутов. При этом существенную помощь в решении такого рода задач оказывают адекватные модели выбора пассажиром пути передвижения. Изучение подобного выбора в маршрутных системах городов (МСГ) требует грамотной организации и проведения соответствующего обследования. Самыми важными позициями здесь остаются выбор метода проведения обследования и определение такого количества респондентов, которое обеспечивает достоверное отображение предпочтений большинства жителей города, пользующихся ГПТ.

Анализ публикаций

В случае моделирования трудовых передвижений пассажиров в МСГ используются различные методы. Так, на сегодняшний день наиболее популярным подходом при решении задачи выбора пассажиром пути передвижения являются модели дискретного выбора. В них в качестве основных инструментов получения информации о факторах функции полезности применяются разновидности методов фиксации фактического выбора пассажирами пути передвижения [2], в которых наблюдение за выбором альтернативы происходит однократно. Поэтому и результатом могут быть только частоты появления, равные 1, если альтернатива выбрана, или 0 – в противном случае. Однако вопрос о количестве опрошенных пассажиров, совершающих такой (однократный) выбор, не поднимается, и проверить качество полученного статистического материала не представляется возможным.

Другим подходом в поиске информации для построения функции полезности является метод моделирования намерений [3]. Согласно этому подходу при моделировании дискретного выбора пассажир описывает только два возможных пути передвижения: привычный путь и наилучший из оставшихся. Однако данный способ поиска информа-

ции для построения функции полезности не получил широкого распространения из-за недостаточно проработанного математического аппарата обработки результатов. Наибольшее распространение среди отечественных методов обследования трудовых передвижений пассажиров получили анкетный, талонный, табличный и визуальный [4, 5]. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, но и они не дают конкретных указаний к определению достаточного количества респондентов для проведения обследования. Авторы обычно ограничиваются ссылками на методы математической статистики в планировании эксперимента.

В свою очередь, общим вопросам планирования экспериментальных исследований посвящено достаточно много трудов и лишь немногие из них, к примеру [6, 7], дают представление о расчете необходимого объема выборки, обеспечивающего надежный статистический материал. Но представленные в этих работах подходы направлены только на определение объема выборки для расчета среднего значения или заданной доли в генеральной совокупности. Они основаны на двух теоремах – П.Л. Чебышева и А.М. Ляпунова [8]. Первая позволяет определить генеральную среднюю (долю) по данным случайной повторной выборки; вторая – рассчитать максимальную ошибку выборочной средней (доли) при заданном числе независимых наблюдений. Согласно этой теореме при достаточно большом числе независимых наблюдений генеральной совокупности с конечной средней (долей) и ограниченной дисперсией вероятность того, что расхождение между выборочной и генеральной средней (долей) не превысит по абсолютной величине некоторую случайную величину, равна интегралу Лапласа [7]

$$P(|\tilde{x} - \bar{x}| \leq \mu t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-t}^{+t} e^{-t^2/2} dt, \quad (1)$$

где \tilde{x} – выборочная средняя; \bar{x} – генеральная средняя; μ – величина стандартной ошибки; t – коэффициент кратности средней ошибки выборки, зависящий от вероятности, с которой гарантируется величина предельной ошибки Δ , определяется по таблице квантилей распределения Стьюдента.

Конечной целью выборочного наблюдения является характеристика генеральной сово-

купности. Однако при малых объемах выборки эмпирические оценки параметров могут существенно отклоняться от их истинных значений, и поэтому возникает необходимость в установлении границ, в пределах которых для выборочных значений параметров лежат их истинные значения [7]

$$\tilde{x} - \Delta \leq \bar{x} \leq \tilde{x} + \Delta. \quad (2)$$

Такие границы характеризуются предельной ошибкой выборки $\Delta = \mu t$. А величина μ , в зависимости от способа сбора выборочной информации, может иметь различную форму представления. Одним из вариантов является определение величины μ для случая повторного эксперимента; так, для среднего

$$\mu = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}, \quad (3)$$

где σ^2 – выборочная дисперсия; n – объем выборочной совокупности.

Учитывая выражения (1)–(3), необходимый объем выборки, который с практической вероятностью обеспечит заданную точность генеральной совокупности, равен [7, 8]

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}. \quad (4)$$

Описанные выше способы оценки объема выборки не подходят для случаев, когда нужно определить достаточное количество наблюдений с целью построения регрессионной зависимости. Другими словами, эти способы не позволяют получить значения коэффициентов регрессионной зависимости, отражающей влияние нескольких факторов на результирующий признак, что характерно для моделирования выбора пассажиром пути передвижения [8]. Однако возможно решить такую задачу при сохранении сущности описанного подхода (1)–(4), заключающуюся в установлении границ, в пределах которых для выборочных значений параметров лежат их истинные значения, характеризующиеся предельной ошибкой выборки.

Цель и постановка задачи

Известные подходы к расчету объема выборки создают достаточную основу для разработки таких же методов в применении к коэффициентам регрессии. Это обусловлено

тем, что выборочное среднее является частным (вырожденным) случаем регрессионной зависимости, с одним свободным членом. Поэтому для получения искомого объема выборки в случае регрессионной зависимости необходимо обобщить известные методы оценки точности расчета среднего значения на основе выборочных наблюдений. Исходя из этого, целью статьи является разработка подхода к определению достаточного количества респондентов, предпочтения которых необходимо исследовать для построения модели вероятности выбора пути передвижения в МСГ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) найти зависимость предельной (абсолютной) погрешности коэффициентов функции полезности в генеральной совокупности;
- 2) определить доверительные интервалы для значений коэффициентов функции полезности в генеральной совокупности с заданной степенью надежности;
- 3) разработать математический аппарат для определения достаточного количества респондентов, выбор которых необходимо исследовать для построения модели вероятности выбора пути передвижения, с относительной погрешностью коэффициентов функции полезности не выше заданной.

Теоретические основы определения достаточного количества респондентов для моделирования выбора пути передвижения

В работе [9] было показано, что наиболее эффективным подходом к моделированию выбора пассажиром пути передвижения в маршрутной системе города является применение регрессионного анализа для определения коэффициентов функции полезности выбранного пути. Как и в случае расчета среднего генеральной совокупности, важным остается определение предельной ошибки Δ , только уже не для среднего, а отдельно для каждого коэффициента регрессии Δ_{ak} , поскольку в регрессионном анализе значение каждого из коэффициентов модели привносит свой вклад в значение результирующего признака, в данном случае – в значение привлекательности пути передвижения.

Также остается схожим и определение границ, в пределах которых для выборочных значений параметров лежат их истинные

значения (2), но опять же в случае регрессионного анализа эти границы необходимо определять для каждого коэффициента модели отдельно.

Аналитически процесс определения достаточного количества респондентов для моделирования выбора пути передвижения может быть представлен следующим образом.

Коэффициенты функции полезности \hat{a}_k , характеризующие выбор пути передвижения в зависимости от m факторов, определяются с помощью метода наименьших квадратов (МНК) [1, 10] на основании пробной выборки объема I_n . Тогда, по аналогии с [7, 8], границы, в пределах которых для выборочных значений коэффициентов \hat{a}_k лежат их истинные значения генеральной совокупности a_k в регрессионном анализе, представляются в виде

$$(\hat{a}_k - \Delta_{a_k}; \hat{a}_k + \Delta_{a_k}), \quad (5)$$

где \hat{a}_k – известные коэффициенты функции полезности, полученные с помощью регрессионного анализа на основании пробной выборки, $k = 0, 1, 2, \dots, m$ (нулевой фактор относится к свободному члену уравнения, т.е. значение этого фактора всегда равно 1); Δ_{a_k} – предельная (абсолютная) ошибка в определении коэффициентов генеральной совокупности a_k , выраженная как

$$\Delta_{a_k} = t_\alpha \cdot \mu_{\hat{a}_k}, \quad (6)$$

где t_α – радиус симметричного интервала относительно нуля (где α – вероятность попадания случайной величины с распределением Стьюдента при количестве степеней свободы $(I_n - m - 1)$ в симметричный интервал); I_n – общее количество альтернативных вариантов передвижения (количество уравнений), представляющее объем пробной выборки, $I_n \in J$ (где J – количество альтернативных вариантов передвижения, представляющее объем генеральной совокупности); $\mu_{\hat{a}_k}$ – величина среднеквадратической (стандартной) ошибки, определяемая по зависимости

$$\mu_{\hat{a}_k} = \hat{\sigma}_{I_n} \cdot S_k, \quad (7)$$

где $\hat{\sigma}_{I_n}$ – среднеквадратическое отклонение пробной выборки объема I_n ; S_k – стандартная ошибка k -го коэффициента функции полезности \hat{a}_k , полученная по МНК, рассчитывается по формуле

$$S_k = \sqrt{\bar{b}_k} / \sqrt{I_n}, \quad (8)$$

где \bar{b}_k – дисперсия оценки k -го параметра регрессии.

Интервал (5) показывает, что истинное значение неизвестного коэффициента генеральной совокупности a_k с вероятностью α попадает в область, определяющуюся заданной предельной ошибкой Δ_{a_k} [11]. Однако в ходе разработки данного подхода к определению достаточного количества респондентов для моделирования выбора пути передвижения было сделано следующее заключение. Использование интервала (5) и обозначений к нему, аналогично [7, 8], позволяет записать условие знакопостоянства интервальных оценок коэффициентов регрессии пробной выборки вида

$$|\hat{a}_k| \geq \hat{t}_\alpha \cdot \hat{\sigma}_{I_n} \cdot \frac{\sqrt{\bar{b}_k}}{\sqrt{I_n}}, \quad (9)$$

откуда

$$J_{\text{зк}} \geq \max_{k=0,1,\dots,m} \left(\frac{\hat{t}_\alpha \cdot \hat{\sigma}_{I_n} \cdot \sqrt{\bar{b}_k}}{|\hat{a}_k|} \right)^2, \quad (10)$$

где $J_{\text{зк}}$ – количество уравнений, обеспечивающее постоянство знака всех коэффициентов регрессии с заданной вероятностью; \hat{t}_α – α -квантиль распределения Стьюдента с $(I_n - m - 1)$ степенями свободы для заданной доверительной вероятности.

Таким образом, условиями (9) и (10) определяется такое количество уравнений, которое является основанием для расчета минимального объема пробной выборки, т.е. такого объема, при котором можно получить заведомо значимые факторы модели регрессии.

Так, при всех значимых факторах условие (9) будет выполнено автоматически, и это будет

свидетельствовать о достаточном объеме пробной выборки и возможности продолжения ее использования в дальнейших целях исследования. В противоположном случае, когда все факторы в пробной выборке окажутся незначимыми, условие (9) выполняться не будет, и только тогда возникнет необходимость определения достаточного количества наблюдений (уравнений регрессии) для итоговой выборки. Из этого следует, что условие (10) является недостаточным для принятия решения о выборке, представляющей объем генеральной совокупности.

Поэтому для достижения поставленной цели было сделано допущение о том, что среднеарифметические величины выборочной совокупности в выражениях (6)–(8) обладают свойствами медленно меняющейся функции [12], а не являются константами, как в [7, 8]. Тогда, воспользовавшись обозначениями к (6)–(8), можно записать, что

$$\varphi_k(J) = \varphi_k(I_n) = \bar{b}_k \cdot \hat{\sigma}_{I_n}^2, \quad (11)$$

где $\varphi_k(J)$ – медленно меняющаяся функция при изменении J , т.е. при $J \rightarrow \infty$ $\frac{\varphi_k(rJ)}{\varphi_k(J)} \rightarrow 1, \forall r > 0$.

Из (11) следует, что величина среднеквадратической ошибки (7) также будет медленно меняться при $I_n \rightarrow \infty$

$$\mu_{\hat{a}_k} = \frac{\sqrt{\varphi_k(I_n)}}{\sqrt{I_n}}. \quad (12)$$

Тогда из выражений (12), (6) и (5) следует, что с заданной вероятностью α относительная погрешность коэффициентов генеральной совокупности, которую можно обозначить как β_{a_k} , не превзойдет соответствующей ей величины выборочной совокупности $\hat{\beta}_k$. А результатом выполнения данного условия и будет искомая величина, соответствующая достаточному количеству респондентов для моделирования выбора пути передвижения N

$$N = \max_{k=0,1,\dots,m} \left(\frac{\hat{\beta}_k}{\beta_{a_k}} \right)^2 \cdot n_n, \quad (13)$$

где N – конечное количество респондентов, выбор которых необходимо исследовать для построения модели выбора пути; n_n – количество респондентов, представляющих объем пробной выборки, $n_n \in N$; β_{a_k} – заданная исследователем относительная погрешность (ошибка) коэффициентов модели генеральной совокупности; $\hat{\beta}_k$ – относительная погрешность коэффициентов модели выборочной совокупности

$$\hat{\beta}_k = \frac{t_\alpha \cdot \mu_{\hat{a}_k}}{|\hat{a}_k|} = \frac{\Delta_{a_k}}{|\hat{a}_k|}. \quad (14)$$

Следует обратить внимание на то, что расчет по зависимости (13) производится отдельно для каждого из коэффициентов модели, а выбор достаточного количества респондентов для моделирования выбора пути передвижения осуществляется по наибольшему полученному значению, предварительно округленному до целого в большую сторону.

Также следует отметить, что расчет величины N должен производиться отдельно для каждой модели полезности пути, по причине различных значений статистических параметров в используемых моделях.

Оценка достаточного количества респондентов для моделирования выбора пути передвижения

Для практической реализации разработанного способа определения достаточного количества респондентов, выбор которых необходимо исследовать при моделировании предпочтений пассажиров, была избрана линейная модель. С целью получения эмпирического материала в г. Харькове было проведено пилотное обследование, в ходе которого был опрошен 31 пассажир.

Полученная выборка представляет собой матрицу значений факторов размерностью 67×3 . Здесь 67 – это количество альтернатив передвижения, рассмотренных всеми респондентами из пробной выборки; 3 – количество факторов в модели выбора, в которые входят свободный член регрессии, продолжительность и стоимость поездки. Далее, в соответствии с представленным математическим аппаратом, были рассчитаны все показатели, необходимые для определения ко-

нечного количества респондентов, выбор которых необходимо исследовать (табл. 1).

Дополнительно адекватность (состоятельность) представленной линейной модели, полученной с использованием пробной вы-

борки, была проверена путем сравнения с простейшей, равновозможной моделью [13] и основных статистических показателей, рассчитываемых при использовании МНК (табл. 2).

Таблица 1 Сводная таблица расчета достаточного количества респондентов для построения линейной модели выбора пути передвижения

Показатель		Значение	Показатель		Значение	
1	Объем пробной выборки, n_n	31	8	Оценка дисперсии пробной выборки, $\hat{\sigma}_{I_n}^2$	0,021	
2	Количество факторов модели	3	9	α -квантиль распределения Стьюдента ($\alpha = \sqrt[3]{0,95}$), \hat{t}_α	2,17	
3	Количество степеней свободы, $I_n - m - 1$	64	10	Количество уравнений, необходимое для выполнения условия знакопостоянства коэффициентов регрессии при 95 %-ной доверительной вероятности, $J_{зк}$	25	
4	Количество альтернативных вариантов передвижения (уравнений регрессии), I_n	67				
5	Дисперсии оценок параметров регрессии	\bar{b}_0	141,75	11	α -квантиль распределения Стьюдента для симметричного интервала ($\alpha = \sqrt[3]{0,95}$), t_α	2,45
		\bar{b}_1	292,05			
		\bar{b}_2	63,31			
6	Коэффициенты функции полезности	a_0	2,56	12	Заданная относительная погрешность коэффициентов модели генеральной совокупности, β_{a_k}	0,3
		a_1	-1,06			
		a_2	-0,74			
7	Значение суммы разностей квадратов, c_{\min}^2	1,315	13	Достаточное количество респондентов для моделирования выбора пути передвижения, N	164	

Таблица 2 Показатели адекватности построенной линейной модели выбора пути передвижения

Показатель		Значение по модели	
		линейной	равновозможной
1	Критерий Фишера	93,07	–
2	Коэффициент детерминации	0,744	–
3	Множественный коэффициент корреляции	0,863	–
4	Критерий адекватности s_N^2	4,862	21,235
5	Количество степеней свободы	33	35
6	Вероятность критерия s_N^2	1,0	0,97

Основываясь на приведенных в табл. 1 и 2 результатах, можно утверждать, что, исходя из условия знакопостоянства (10), объем пробной выборки, с точки зрения МНК, является вполне достаточным для построения модели поведения пассажиров в маршрутной системе со значимыми на 95 %-м уровне коэффициентами. Однако незначительная по вероятности разница в прогностических способностях полученной модели, по сравнению с равновозможной моделью, диктует необходимость ужесточения требований к коэффициентам регрессии. Снижение относительной

погрешности коэффициентов модели выборочной совокупности приблизительно в три раза, т.е. при $\beta_{a_k} = 0,3$, в соответствии с представленной методикой, приводит к необходимости расширения выборки до 164 пассажиров, производящих выбор альтернативного пути.

Выводы

Существующие подходы к определению достаточного объема выборки при проведении выборочных обследований являются непри-

годными для случая обследования с целью построения модели расчета вероятности выбора пассажиром пути передвижения в МСГ с помощью регрессионного анализа. Однако они создают надежную основу для разработки новых методов определения достаточного объема выборки на основе коэффициентов регрессии.

Разработанный на этой основе подход позволяет проверить достаточность взятого объема пробной выборки и необходимость его расширения, опираясь на значимость полученных коэффициентов регрессии в функции полезности пути передвижения.

Использование предположения о том, что статистические характеристики среднеарифметических величин модели регрессии медленно меняются, позволило сделать заключение, что достаточное количество респондентов, обеспечивающее адекватное отображение генеральной совокупности, может быть определено через квадрат отношения относительной погрешности коэффициентов модели регрессии, полученной на основании выборочной совокупности, к заданной относительной погрешности этих же коэффициентов генеральной совокупности. При этом величина задаваемой относительной погрешности определяется целью исследования.

Литература

1. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 264 с.
2. Ben-Akiva M. and Lerman S. Some Estimation Results of a Simultaneous Model of Auto Ownership and Model Choice to Work // *Transportation*. – 1974. – Vol. 3. – P. 357–376.
3. Рогова Г.Л. Моделирование выбора путей передвижения пассажиров в транспортных системах городов: автореф. дис. на соискание учёной степени канд. техн. наук: спец. 05.22.02 «Транспортные системы городов и промышленных центров» / Г.Л. Рогова. – М., 1987. – 19 с.
4. Ефремов И.С. Теория городских пассажирских перевозок: учеб. пособ. для вузов / И.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. – М.: Высшая школа, 1980. – 536 с.

5. Спиринов И.В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / И.В. Спиринов. – М.: Академия, 2003. – 400 с.
6. Гмурман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2003. – 480 с.
7. Венецкий И.Г. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе / И.Г. Венецкий, В.И. Венецкая. – М.: Статистика, 1974. – 280 с.
8. Ефимова М.Р. Практикум по общей теории статистики: учебное пособие / М.Р. Ефимова, О.И. Ганченко, Е.В. Петрова. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 280 с.
9. Горбачев П.Ф. Способы формирования модели выбора варианта трудового передвижения маршрутным транспортом / П.Ф. Горбачев, А.В. Макаричев, О.В. Свичинская // *Альманах современной науки и образования*. – 2013. – № 11 (78). – С. 47–58.
10. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений / Ю.В. Линник. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы «Физматгиз», 1958. – 336 с.
11. Севастьянов Б.А. Курс теории вероятностей и математической статистики / Б.А. Севастьянов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 256 с.
12. Гольдберг А.А. Интегральное представление монотонных медленно меняющихся функций / А.А. Гольдберг // *Известия вузов. Серия «Математика»*. – 1988. – №4. – С. 21–27.
13. Горбачев П.Ф. Подход к оценке адекватности моделей выбора пассажиром пути передвижения / П.Ф. Горбачев, А.В. Макаричев, О.В. Свичинская, А.А. Тропина // *Вестник ХНАДУ: сб. науч. ст.* – 2013. – Вып. 60. – С. 27–33.

References

1. Voznesenskiy V.A. Statisticheskie metodyi planirovaniya eksperimenta v tehniko-ekonomicheskikh issledovaniyah. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1981. 264 p.
2. Ben-Akiva M. and Lerman S. Some estimation results of a simultaneous model of auto

- ownership and model choice to work. *Transportation*, 1974, vol. 3. pp. 357–376.
3. Rogova G.L. *Modelirovanie vyibora putey peredvizheniya passazhirov v transportnyih sistemah gorodov*. Avtoref. dis. na soiskanie nauch. stepeni kand. tehn. nauk: spets. 05.22.02 «Transportnyie sistemyi gorodov i promyishlennyih tsentrov». Moscow, 1987. 19 p.
 4. Efremov I.S., Kobozev V.M., Yudin V.A. *Teoriya gorodskih passazhirskih perevozk: ucheb. posob. dlya vuzov*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980. 536 p.
 5. Spirin I.V. *Organizatsiya i upravlenie passazhirskimi avtomobilnyimi perevozkami: uchebnyk dlya stud. uchrezhdeniy sred. prof. obrazovaniya*. Moscow, Akademiya Publ., 2003. 400 p.
 6. Gmurman V.E. *Teoriya veroyatnosti i matematicheskaya statistika*. Moscow, Vyssh. shk. Publ., 2003. 480 p.
 7. Venetskiy I.G., Venetskaya V.I. *Osnovnyie matematiko-statisticheskie ponyatiya i formuly v ekonomicheskom analize*. Moscow, Statistika Publ., 1974. 280 p.
 8. Efimova M.R., Ganchenko O.I., Petrova E.V. *Praktikum po obschey teorii statistiki: uchebnoe posobie*. Moscow, Finansyi i statistika Publ., 1999. 280 p.
 9. Gorbachev P.F., Makarichev A.V., Svichinskaya O.V. *Sposobyi formirovaniya modeli vyibora varianta trudovogo peredvizheniya marshrutnyim transportom*. *Almanah sovremennoy nauki i obrazovaniya*, 2013, vol. 11 (78). pp. 47–58.
 10. Linnik Yu.V. *Metod naimenshih kvadratov i osnovyi teorii obrabotki nablyudeniy*. Moscow, Gosudarstvennoe izdatelstvo fiziko-matematicheskoy literatury i Fizmatgiz Publ., 1958. 336 p.
 11. Sevastyanov B.A. *Kurs teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistiki*. Moscow, Nauka. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury Publ., 1982. 256 p.
 12. Goldberg A.A. *Integralnoe predstavlenie monotonnyih medlenno menyayuschihsya funktsiy*. *Izvestiya vuzov. Seriya «Matematika»*, 1988, vol. 4. pp. 21–27.
 13. Gorbachev P.F., Makarichev A.V., Svichinskaya O.V., Tropina A.A. *Podhod k otsenke adekvatnosti modeley vyibora passazhirom puti peredvizheniya*. *Vestnik KhNADU: sb. nauch. tr.*, 2013, vol. 60. pp. 27–33.
- Рецензент: Е.В. Нагорный, профессор, д.т.н., ХНАДУ.
- Статья поступила в редакцию 8 июля 2014 г.
-
-

УДК 656.073

СПОСІБ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ АВТОМОБІЛІВ НА РОЗВІЗНИХ МАРШРУТАХ

Є.В. Нагорний, проф., д.т.н., Н.Ю. Шраменко, доц., д.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Для вибору технології роботи автомобілів на розвізних (збірних) маршрутах запропоновано критерій, який характеризує раціональне співвідношення між витратами перевізника та додатковими витратами вантажовласника. Розроблено рекомендації для створення автоматизованої системи формування технології роботи автомобілів на розвізних (збірних) маршрутах.

Ключові слова: вантажний термінал, розвізний маршрут, технологія, автоматизована система.

СПОСОБ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЕЙ НА РАЗВОЗОЧНЫХ МАРШРУТАХ

Е.В. Нагорный, проф., д.т.н., Н.Ю. Шраменко, доц., д.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Для выбора технологии работы автомобилей на развозочных (сборочных) маршрутах предложен критерий, который характеризует рациональное соотношение между затратами перевозчика и дополнительными затратами грузовладельца. Разработаны рекомендации для создания автоматизированной системы формирования технологии работы автомобилей на развозочных (сборочных) маршрутах.

Ключевые слова: грузовой терминал, развозочный маршрут, технология, автоматизированная система.

METHOD OF CHOOSING THE TECHNOLOGY OF VEHICLE OPERATION ON DELIVERY ROUTES

Ye. Nagorny, Prof., D. Sc. (Eng.), N. Shramenko, Ass. Prof., D. Sc. (Eng.),
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. A method for determining the technology of vehicles operation on delivery (team) routes, which allows to determine the optimal sequence of cargo delivery to customers by vehicles of certain capacity in order to meet the requirements of cargo owners regarding the conditions of service is offered. Recommendations for creation of an automated system of forming the technology of vehicles operation on delivery routes are developed.

Key words: cargo terminal, delivery route, technology, automated system.

Вступ

Для ефективного управління перевізним процесом необхідне розв'язання задач маршрутизації. Однак у цей час у нових умовах господарювання на автомобільному транспорті немає чітко сформованої теорії пере-

вень дрібнопартійних вантажів на колових маршрутах. Організацію перевізного процесу слід здійснювати за умови мінімізації нульових та порожніх пробігів, що впливають на величину загального пробігу автомобіля. Складність вирішення зазначеної проблеми обумовлена тим, що теорія вантажних авто-

мобільних перевезень не може бути описана яким-небудь одним математичним виразом.

Аналіз публікацій

Аналіз літературних джерел показав, що при розробці концепції транспортного обслуговування найбільше уваги приділялось задоволенню вимог перевізника [1, 2]. Створення оптимальної схеми розвезення вантажів спиралось не на підвищення питомої ваги вантажного пробігу, а на скорочення загального пробігу.

Відомий спосіб формування технології розвезення (збору) на основі оптимізації розвізних маршрутів [3], що базується виключно на формуванні розвізних маршрутів за обраним критерієм оптимальності, який передбачає мінімізацію пробігу рухомого складу чи витрат часу, чи вартості перевезення 1т вантажу тощо. Недоліком виступає неврахування вимог вантажовласників щодо особливих умов їх обслуговування та непередбачення можливості застосування надбавок до тарифів транспортного підприємства.

Автором в [4] запропоновано модуль управління товарними потоками в середовищі логістичної інформаційної системи, який передбачає комплексне вирішення задачі маршрутизації поставок споживчих товарів, що дозволяє аналізувати поточні ситуації нестабільного розподільчого середовища, здійснювати управління процесом формування раціональних маршрутів та технологічних планів завантаження. Недоліками цього модуля є: недостатня гнучкість моделювання за зміни умов обслуговування вантажовласників; не передбачено вибору раціональних марок та моделей автомобілів для роботи на маршрутах; відсутні блоки з моделями для можливості аналізу технологій за критерієм, який характеризує співвідношення витрат перевізника та додаткових витрат вантажовласника, врахування чого дозволило б досягти раціонального транспортного процесу на певний період, за умов змінного попиту на перевезення дрібнопартійних вантажів.

Існуючі технології роботи автомобілів на розвізних (збірних) маршрутах не передбачають здійснення вибору технології за критерієм, який враховує витрати перевізника та додаткові витрати вантажовласника, що дозволило б підвищити якість транспортного

обслуговування вантажовласників та здійснювати корегування існуючої технології за змінного попиту на перевезення для найбільш повного задоволення вимог вантажовласників щодо умов обслуговування [5, 6].

Мета і постановка завдання

Метою дослідження є розробка системи вибору технології роботи автомобілів на розвізних маршрутах, яка б забезпечувала зменшення витрат перевізника і вантажовласників.

Задачею, покладеною в основу дослідження, є визначення раціональної технології роботи автомобілів на розвізних (збірних) маршрутах за особливих вимог вантажовласників щодо умов обслуговування шляхом забезпечення раціонального співвідношення між витратами перевізника на організацію розвізного (збірного) маршруту та додатковими витратами вантажовласника за виконання його вимог щодо обслуговування.

Формування раціональної технології роботи автомобілів на розвізних маршрутах

Спосіб визначення технології роботи автомобілів на розвізних (збірних) маршрутах здійснюється з використанням автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора логістичного центру (ОЛЦ) автотранспортного підприємства (терміналу). Клієнти за допомогою пристрою визначення географічних координат на основі GPS-приймача визначають свою дислокацію. Модуль введення інформації забезпечує введення через мережу Інтернет та накопичення замовлень вантажовласників: кількість та дислокація вантажовласників, їх вимоги щодо обслуговування (обсяги партій відправки, час подачі транспортного засобу, терміновість обслуговування – «точно у строк», протягом доби чи за періодами доби), а також введення оператором чи зовнішньою інформаційною системою характеристик парку рухомого складу (вантажопідйомність, марка та модель автомобілів, їх облікова кількість), узгоджені з вантажовласником надбавки до тарифу за перевезення на певний період, рівень рентабельності перевізника. На основі отриманих координат формується матриця відстаней між вантажовласниками на певному полігоні, що відповідає реальній місцевості.

Поставлена задача вирішується за допомогою імітаційного моделювання та передбачає формування розвізних маршрутів з великою кількістю пунктів заїзду. Одночасно проводиться формування розвізного маршруту за декількома стратегіями й обчислюються витрати за кожною з технологій із множини T

$$C = \sum_{f=F} \sum_{r=R} S_f L_{fr}^{k-p}, \quad (1)$$

$$W_{\text{надб}} = \sum_{f=F} \sum_{r=R} N_f P_f L_{fr}^{k-p}, \quad (2)$$

де C – витрати на організацію розвізних (збірних) маршрутів за обраною технологією із множини альтернатив T ; F – множина марок та моделей автомобілів; R – множина сформованих розвізних (збірних) маршрутів; L_{fr}^{k-p} – відстань між початковим та кінцевим пунктами заїзду автомобіля f -ї марки при здійсненні розвезення (збору) по r -му маршруту; S_f – собівартість експлуатації та утримання автомобіля f -ї марки; $W_{\text{надб}}$ – додаткові витрати вантажовласників за рахунок застосування надбавки до тарифу за особливі умови їх обслуговування на розвізних (збірних) маршрутах за обраною технологією із множини альтернатив T ; N_f – надбавка до тарифу на 1 км пробігу автомобіля f -ї марки на розвізних (збірних) маршрутах за особливі умови обслуговування вантажовласників; P_f – встановлений тариф на 1 км пробігу автомобіля f -ї марки на розвізних (збірних) маршрутах.

Після цього проводиться декілька експериментів, для яких є різними терміновість та пріоритетність обслуговування вантажовласників («точно у строк», протягом доби чи за періодами доби), за формуванням технологій роботи автомобілів на розвізних (збірних) маршрутах. Результатом є множина технологій обслуговування вантажовласників, сформованих за критерієм мінімального пробігу на маршрутах, за різних вимог вантажовласників щодо умов їх обслуговування.

Програмний модуль прийняття рішення здійснює вибір технології роботи автомобілів на розвізних (збірних) маршрутах за умов, що обрана технологія забезпечується покриттям витрат перевізника в разі особливих вимог вантажовласника щодо обслуговування, та

обчислює запропонований згорнутий критерій, мінімальне значення якого не перевищує одиниці та характеризує кращу технологію $T_{\text{рац}}$ з існуючих альтернатив на множині T

$$J = \frac{C - C_{\min} - W_{\text{надб}}}{C_{\max} - C_{\min}}, \quad (3)$$

де C_{\max} – максимально допустимі витрати на організацію розвізних (збірних) маршрутів за технологіями із множини альтернатив T , за умов дотримання встановленого рівня рентабельності перевізника; C_{\min} – мінімальне значення витрат на організацію розвізних (збірних) маршрутів за технологіями із множини альтернатив T .

Рішення приймається виходячи з того, що технологія повинна забезпечити раціональне співвідношення між витратами перевізника та додатковими витратами вантажовласника. Результати моделювання технології роботи автомобілів на розвізних (збірних) маршрутах, сформовані розвізні (збірні) маршрути із закріпленням автомобілів для певної технології та рекомендації щодо остаточного вибору технології відображаються на екрані АРМ ОЛЦ. Після цього оператор приймає остаточне рішення щодо вибору технології роботи автомобілів на розвізних (збірних) маршрутах на певний період $T_{\text{рац}}$.

Слід зауважити, що попередні дослідження [7–10] були спрямовані на оптимізацію технології роботи автомобілів на розвізних (збірних) маршрутах. Розроблені моделі застосовуються у блоках моделювання (3), (4).

Запропонований спосіб визначення раціональної технології роботи автомобілів на розвізних (збірних) маршрутах із множини альтернатив T передбачає визначення оптимальної послідовності розвезення (збору) вантажів замовникам автомобілями певної вантажності з урахуванням вимог вантажовласників щодо умов обслуговування, дозволяє проаналізувати співвідношення витрат перевізника та додаткових витрат вантажовласників; надає можливість визначити ступінь використання та необхідну кількість автомобілів при певній технології.

Визначення технології роботи автомобілів на розвізних (збірних) маршрутах передбачає декілька етапів (рис. 1).



Рис. 1. Етапи визначення раціональної технології роботи автомобілів на розвізних маршрутах

Запропонована автоматизована система є доповненням до АРМ ОЛЦ транспортного підприємства (терміналу), розширює можливості оператора: дозволяє визначити раціональну технологію роботи автомобілів на розвізних (збірних) маршрутах, за умов дотримання встановленого рівня рентабельності перевізника та узгодженого з вантажовласником розміру надбавки до тарифу; здійснювати розподіл замовлень на обслуговування за окремими маршрутами, за умови номінального завантаження транспортних засобів; прийняття управлінських рішень у випадку виникнення непередбачуваної ситуації шляхом внесення корективів в існуючу технологію; накопичення отриманих даних з метою аналізу роботи рухомого складу за певний період. Тим самим враховуються інтереси вантажовласників, підвищується якість їх транспортного обслуговування, контролюється рівень рентабельності перевізника, а додаткові інформаційні можливості АРМ ОЛЦ дозволяють більш оперативно та обґрунтовано приймати управлінські рішення.

Висновки

Запропоновано спосіб визначення технології роботи автомобілів на розвізних (збірних)

маршрутах, що передбачає визначення оптимальної послідовності розвезення (збору) вантажів замовникам автомобілями певної вантажності, з урахуванням вимог вантажовласників щодо умов обслуговування.

Для вибору технології роботи автомобілів на розвізних (збірних) маршрутах за умов, що обрана технологія забезпечується покриттям витрат перевізника в разі особливих вимог вантажовласника щодо обслуговування, запропоновано критерій, який характеризує раціональне співвідношення між витратами перевізника та додатковими витратами вантажовласника.

Розроблено рекомендації для створення автоматизованої системи формування технології роботи автомобілів на розвізних (збірних) маршрутах, що передбачають доповнення до АРМ оператора логістичного центру транспортного підприємства (терміналу).

Напрями подальших досліджень такі: формування тарифів на організацію розвізних маршрутів залежно від стратегії транспортного обслуговування вантажовласників.

Література

1. Горев А. Э. Грузовые автомобильные перевозки: учеб. пособие для студ. высш. учеб. завед. / А. Э. Горев. – 2-е изд. – М.: Академия, 2004. – 288 с.
2. Сарафанова Е.В. Грузовые автомобильные перевозки / Е.В. Сарафанова, А.А. Евсеева, Б.П. Копцев. – М.: ИКЦ «МарТ», 2006. – 480 с.
3. Прокофьева О.С. Разработка методики оптимизации развозочных маршрутов: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / О.С. Прокофьева. – Иркутск, 2004. – 16 с.
4. Филиппов Д.В. Управление и оптимизация процесса формирования маршрутов поставок потребительских товаров в распределительных центрах: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством (логистика)» / Д.В. Филиппов. – М., 2012. – 24 с.
5. Шраменко Н.Ю. Методи маршрутизації при дрібнопартійних перевезеннях в

- транспортних системах міст та шляхи їх удосконалення / Н.Ю. Шраменко // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – 2009. – Вып. 86. – С. 364–367.
6. Шраменко Н.Ю. Теоретико-методологічні основи ефективного функціонування термінальних систем при доставці дрібно-партіонних вантажів: монографія / Н.Ю. Шраменко. – Х.: ХНАДУ, 2010. – 156 с.
7. Шраменко Н.Ю. Обґрунтування вибору критерію прийняття рішення при плануванні розвізних маршрутів в умовах невизначеності / Н.Ю. Шраменко // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2009. – Вып. 45. – С. 41–43.
8. Шраменко Н.Ю. Модель оптимального планування роботи автомобілів на розвізних маршрутах при перевезеннях дрібно-партіонних вантажів / Н.Ю. Шраменко // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2007. – Вып. 20. – С. 129–132.
9. Шраменко Н.Ю. Модель організації транспортного процесу на розвізних маршрутах / Н.Ю. Шраменко // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2007. – Вып. 21. – С. 74–77.
10. Шраменко Н.Ю. Вибір оптимальної стратегії обслуговування вантажовласників на розвізних маршрутах / Н.Ю. Шраменко, А. В. Галаган // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2009. – Вып. 44. – С. 78–82.
4. Filippov D.V. *Upravlenie i optimizatsiya protsessa formirovaniya marshrutov postavok potrebitelskih tovarov v raspredelitelnykh tsentrah*. Avtoref. dis. na soiskanie uchen. stepeni kand. techn. nauk 08.00.05 «Ekonomika i upravlenie narodnyim hozyaystvom (logistika)», Mosow, 2012. 24 p.
5. Shramenko N.Yu. *Metodi marshrutizatsiyi pri dribnopartionnih perevezennyah v transportnih sistemah mlst ta shlyahi yih udoskonalennya*. *Komunalnoe hazayaystvo gorodov: nauch.-tehn. sb.*, 2009, vol. 86. pp. 364–367.
6. Shramenko N.Yu. *Teoretiko-metodologichni osnovi effektivnogo funktsionuvannya terminalnih sistem pri dostavtsi dribnopartionnih vantazhiv*: Kharkov, KhNADU Publ., 2010. 156 p.
7. Shramenko N.Yu. *Obgruntuvannya viboru kriteriyu priynyattya rishennya pri planuvanni rozviznih marshrutiv v umovah neviznachenosti*. *Vestnik Harkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta: sb. nauch. tr.*, 2009, vol. 45. pp. 41–43.
8. Shramenko N.Yu. *Model optimalnogo planuvannya roboti avtomobiliv na rozviznih marshrutah pri perevezennyah dribnopartionnih vantazhiv*. *Avtomobilniy transport*, 2007, vol. 20. pp. 129–132.
9. Shramenko N.Yu. *Model organizatsiyi transportnogo protsesu na rozviznih marshrutah*. *Avtomobilniy transport: sb. nauch. tr.*, 2007, vol. 21. pp. 74–77.
10. Shramenko N.Yu., Galagan A.V. *Vibir optimalnoyi strategiyi obslugovuvannya vantazhovlasnikiv na rozviznih marshrutah*. *Vestnik Harkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta: sb. nauch. tr.*, 2009, vol. 44. pp. 78–82.

References

1. Gorev A.E. *Gruzovye avtomobilnye perevozki*: Ucheb. posobie dlya stud. vyssh. ucheb. zaved. 2-e izd. Moskow, Akademiya Publ., 2004. 288 p.
2. Sarafanova E.V., Evseeva A.A., Koptsev B.P. *Gruzovye avtomobilnye perevozki*. Moskow, IKTs «MarT» Publ., 2006. 480 p.
3. Prokofeva O.S. *Razrabotka metodiki optimizatsii razvozhnykh marshrutov*. Avtoref. dis. na soiskanie uchen. stepeni kand. techn. nauk 05.22.10 «Ekspluatatsiya avtomobilnogo transporta», Irkutsk, 2004. 16 p.

Рецензент: П.Ф. Горбачов, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 10 жовтня 2014 р.

УДК 656.073

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

В.С. Наумов, проф., д.т.н., О.Г. Холева, асп.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Раскрыто понятие концепции устойчивого развития при управлении сложными технологическими системами. Описаны основные подходы к определению индикаторов устойчивого развития. Предложена система показателей для оценки устойчивого развития транспортно-экспедиторских предприятий. Показана целесообразность использования концепции устойчивого развития при управлении транспортными и экспедиторскими предприятиями.

Ключевые слова: устойчивое развитие, транспортное предприятие, индикаторы развития.

ВИКОРИСТАННЯ КОНЦЕПЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПРИ УПРАВЛІННІ ТРАНСПОРТНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ

В.С. Наумов, проф., д.т.н., О.Г. Холева, асп.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Розкрито поняття концепції сталого розвитку при управлінні складними технологічними системами. Описано основні підходи до визначення індикаторів сталого розвитку. Запропоновано систему показників для оцінки сталого розвитку транспортно-експедиторських підприємств. Показано доцільність використання концепції сталого розвитку при управлінні транспортними й експедиторськими підприємствами.

Ключові слова: сталий розвиток, транспортне підприємство, індикатори розвитку.

USE OF THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN TRANSPORT ENTERPRISE MANAGEMENT

V. Naumov, Prof., D. Sc. (Eng.), O. Kholeva, P. G.,
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The definition of the concept of sustainable development in the management of complex technological systems has been revealed. The basic approaches to the definition of sustainable development indicators have been described. The reasonability of use of the concept of sustainable development in transport and forwarding enterprises management has been shown. The system of indicators for evaluation of the freight forwarding enterprises sustainable development has been proposed. The mentioned system of indicators allows to consider the main results of freight forwarders functioning as the elements of the macro logistics system of the transportation services market. This system of indicators could be defined as a basic tool for forming the strategies of freight forwarders sustainable development.

Key words: sustainable development, transport enterprise, development indicators, concept.

Введение

Современные транспортные предприятия функционируют в условиях сложной логистической макросистемы – рынка транспортных услуг. Это обуславливает наличие кон-

фликтных ситуаций между субъектами рынка, связанных с их различными экономическими интересами и целями. Формирование стратегий поведения предприятий позволяет определить такие наборы услуг, значения цен на эти услуги, организационные струк-

туры, используемые технологии обслуживания, которые позволяют достичь желаемых целей на рынке. С другой стороны, рынок транспортных услуг является социально-экономической системой, поэтому модели формирования стратегий субъектов рынка должны определять такие направления деятельности предприятий, которые, по крайней мере, не оказывают негативное воздействие на человека и окружающую среду. Современной парадигмой в управлении сложными социальными и технологическими системами является концепция устойчивого развития.

Анализ публикаций

Понятие устойчивого развития впервые было определено в документе [1] Международной комиссии по окружающей среде и развитию (Комиссия Г.Х. Брундтланд), созданной Генеральной Ассамблеей ООН. Под устойчивым развитием в [1] понимается «такое развитие, которое удовлетворяет потребности нынешнего поколения, не подрывая возможностей будущих поколений удовлетворять их собственные потребности». Данное понятие может быть использовано на различных уровнях управления – как на уровне макро-систем, так и на микроуровне – уровне функционирования отдельных транспортных и экспедиторских предприятий. Одним из основных положений, отмеченных в [1], является утверждение, что стратегия устойчивого развития направлена на достижение баланса между социальными и экологическими показателями функционирования систем.

Проблемам устойчивого развития на уровне отдельных предприятий посвящены работы таких ученых, как Анпилов С.М., Ахихов А.Ч., Белоусов К.Ю., Бережнов Г.В., Воротынцева А.В., Григорова О.Н., Егорова С.Е., Епифанова И.Ю., Катков Е.В., Тюкавкин Н.М., Харач О.Г., Шаламова О.В. и других авторов [2–6].

В целом на основании анализа публикаций указанных авторов можно сделать вывод, что концепция устойчивого развития имеет характер универсализации процессов, а ее основой является комплексная междисциплинарная система знаний, которая рассматривает неразрывно тенденции естественной эволюции, этапы развития техносферы и социально-политические процессы на макроуровне.

Цель и постановка задачи

Целью работы является обоснование целесообразности использования концепции устойчивого развития при управлении транспортными системами. Объектом исследования является теоретическое и практическое применение концепции устойчивого развития в целом, а предметом – ее применение при управлении транспортными и экспедиторскими предприятиями.

Для достижения цели исследования раскрываются основные особенности концепции устойчивого развития, анализируются подходы к определению индикаторов устойчивого развития, а также предлагается система индикаторов для управления процессом устойчивого развития транспортных предприятий.

Основные особенности концепции устойчивого развития

Проблемы устойчивого развития транспортных предприятий на микро- и макроуровнях рассматриваются в работах Анчугина А.А., Бекетова Ю.А., Булановича П.Г., Демьяновича И.В., Макаренкова А.В., Нагорного Е.В., Пановой Н.В., Сулова Е.Г., Щербининой А.Ю., Янченко Н.В., а также F. Boscacci, J.-M. Monnet, E. Le Net, J. Whitelegg и других ученых [7–11].

Под стратегией устойчивого развития предприятия, по мнению автора [12], следует понимать долгосрочный план действий, направленных на постоянное обновление структурного и функционального содержания производственно-экономической системы (предприятия), с целью формирования такого экономического состояния, при котором ее хозяйственная деятельность обеспечивает в условиях изменяющейся внешней и внутренней среды общую эффективность функционирования и выполнение всех обязательств перед работниками, другими организациями, государством, в соответствии с миссией и целями предприятия.

В коллективной монографии [13] устойчивое развитие определяется как стабильное сбалансированное социально-экономическое развитие, не разрушающее окружающую природную среду и обеспечивающее непрерывный социальный прогресс. Авторы монографии выделяют четыре основных направ-

ления, позволяющие обеспечить переход к устойчивому развитию: сохранение естественных экосистем; стабилизация численности населения; экологизация производства; рационализация потребления. Каждое из указанных направлений может быть применено при разработке современных подходов к управлению транспортными предприятиями.

В статье [14] указывается, что применительно к отдельному предприятию как объекту исследования понятие «устойчивое развитие» подразумевает:

- прирост потенциала предприятия;
- повышение качества жизни лиц и организаций, имеющих отношение к рассматриваемому предприятию в длительной перспективе;
- высокую динамику факторов внешней среды;
- оригинальность принимаемых управленческих решений;
- непрерывность и высокую трудоемкость обеспечения развития данного типа;
- приемлемый уровень фактических отклонений результатов деятельности предприятия от плановых показателей.

Данные принципы, очевидно, целесообразно использовать и при управлении транспортными предприятиями как элементами транспортных систем, а также на микроуровне – при управлении внутренними процессами функционирования транспортных предприятий как микрологистических систем. Концепции устойчивого развития свойственно сочетание различных методологических подходов и уровней теоретического осмысления глобальных проблем современности [15]:

- историческая направленность (проявляется в изучении и анализе кризисов и катастроф, происшедших в результате деятельности человека, и в оценке конкретно-исторической ситуации в мире): при формировании стратегий устойчивого развития транспортных предприятий необходимо учитывать совокупность экономико-политических факторов как показателей, позволяющих описать влияние внешней среды;
- футурологическая направленность (специфическая комбинация поисковых и нормативных прогнозов, способствующая созданию проектов, в которых делается особый акцент на предсказание возможных последствий их осуществления для мирового развития): при управлении транспортными предприятиями

необходимо учитывать влияние результата их функционирования на внешнюю среду;

- эвристическая направленность (проявляется в расширении круга решаемых проблем благодаря постановке задач определения путей и перспектив развития, а также в непосредственном выдвигании новых теоретических положений и практических рекомендаций): разработка стратегий устойчивого развития транспортных предприятий должна осуществляться на базе междисциплинарных моделей, учитывающих не только техническую и технологическую, но и социальную и политическую составляющие;
- междисциплинарный характер (весь комплекс проблем устойчивого развития исследуется на основе методологии системного анализа): управление устойчивым развитием транспортных предприятий должно осуществляться на базе принципов системного анализа.

Индикаторы устойчивого развития транспортных предприятий

Одной из основных задач, требующих использования системного подхода, с одной стороны, и учета узкоспециальных особенностей процесса функционирования транспортных предприятий – с другой стороны, является задача численного выражения процесса устойчивого развития.

В настоящий момент существует несколько вариантов расчета индикаторов (измерителей) устойчивого развития – показателей, выводимых из накопленных знаний, которые обычно нельзя использовать для интерпретации изменений, позволяющих судить о состоянии или изменении экономической, социальной или экологической переменной. Основой этих расчетов являются два подхода:

- 1) построение обобщенного индикатора, основанного на нескольких других индикаторах; из-за ряда статистических (отсутствие необходимой и достоверной статистической базы), методологических проблем, а также сложности расчета общепризнанного интегрированного индикатора устойчивого развития пока не существует;
- 2) построение системы индикаторов: этот подход более распространен и базируется на построении системы показателей, которые могут отражать отдельные аспекты устойчивого развития.

Наиболее показательный пример второго подхода – это методология Комиссии ООН по устойчивому развитию. Также построение системы индикаторов использовано [16].

Изначально в методологии Комиссии ООН по устойчивому развитию, которая была первой комплексной разработкой в этой области, общее число предложенных индикаторов составляло 132. Все индикаторы были разделены на четыре группы [16]: социальные (41 индикатор), экономические (26 индикаторов), экологические (55 индикаторов) и организационные (10 индикаторов).

Однако в последнее время все чаще, наряду с системами, содержащими достаточно много показателей, разрабатываются сжатые системы индикаторов, сокращенные списки так называемых ключевых (или базовых) индикаторов устойчивого развития. Комиссия ООН по устойчивому развитию также сократила число используемых индикаторов более чем в 2 раза [16].

Проблема индикаторов устойчивого развития очень сложна, существующие предложения разноплановы и противоречивы [15]. Как правило, перечень критериев, которым должны удовлетворять индикаторы устойчивого развития, включает в себя следующие требования:

- должна быть реализована возможность использования индикаторов на различных уровнях;
- индикаторы должны иметь однозначную интерпретацию для различных категорий лиц, принимающих решения;
- индикаторы должны иметь количественное выражение;
- индикаторы должны опираться на имеющуюся систему национальной статистики и не требовать значительных издержек для сбора информации и расчетов;
- индикаторы должны соответствовать особенностям принятия решений;
- индикаторы должны быть репрезентативны для международных сопоставлений и др.

В современных методологиях расчета индикаторов, как правило, используются методы с применением количественных показателей, которые искажают действительность. К таким методам в работе [15] отнесены:

- монетарный учет изменений: монетарные оценки являются относительной и недостаточно информативной мерой;

- оценка в натуральных единицах;
- безразмерные оценки.

Таким образом, существующие количественные показатели не решают проблемы соизмерения разнокачественных понятий, не являются аддитивными, субъективны, а также не позволяют оценить эффективность действий и обеспечить устойчивое развитие.

Большинство авторов предлагают методику оценки интегрального коэффициента устойчивого развития Y как средней геометрической из коэффициентов, выраженных в долях единицы, по общей формуле

$$Y = \sqrt[n]{\alpha_1 \cdot K_1 \cdot \alpha_2 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot \alpha_n \cdot K_n}, \quad (1)$$

где α – вес показателя, определяемый экспертным путем; K_i – показатель, выраженный в долях единицы; n – количество используемых показателей.

Как видим, в настоящее время не существует общепризнанного и однозначного подхода к определению индикаторов устойчивого развития, поэтому данную задачу можно определить как основную при разработке подходов к управлению устойчивым развитием транспортных предприятий. С учетом описанных подходов, требований и методологий формирования, индикаторы устойчивого развития транспортных и экспедиторских предприятий предлагается разделить на следующие группы:

- 1) технико-эксплуатационные результативные показатели: k_{11} – фактическая производительность обслуживающих устройств (для экспедиторских предприятий – диспетчеров), k_{12} – объем выполненных работ (количество обслуженных заявок), k_{13} – уровень обслуживания (отношение количества обслуженных заявок к общему количеству поступивших);
- 2) технико-экономические результативные показатели: k_{21} – эксплуатационные затраты на обслуживание, k_{22} – рентабельность;
- 3) эколого-технологические показатели: k_{31} – уровень загрязнения окружающей среды;
- 4) социальные показатели: k_{41} – количество работников предприятия, k_{42} – уровень социальных отчислений.

Оценку интегрального показателя устойчивого развития предлагается осуществлять на основании подхода (1). Переход к безразмерным показателям K_i осуществляется за счет

определения темпов роста отдельных индикаторов относительно предыдущего периода. Вес соответствующих показателей целесообразно определять на основании методов экспертных опросов.

Выводы

Применение концепции устойчивого развития и ее реализация при управлении транспортными предприятиями подразумевает, в первую очередь, учет экологической и социальной составляющих процессов их функционирования, а также внедрение ресурсосберегающих технологий.

Предложенная система индикаторов устойчивого развития транспортных и экспедиторских предприятий позволяет учесть основные результаты их функционирования как элементов макрологистических систем, а также является базовым инструментом для формирования стратегий устойчивого развития предприятий на рынке транспортных услуг.

Литература

- Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Режим доступа: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- Анпилов С.М. Современный подход к устойчивому развитию предприятия / С.М. Анпилов // Основы экономики, управления и права. – 2012. – Вып. 1(1). – С. 53–57.
- Тюкавкин Н.М. Концепция формирования стратегии устойчивого развития / Н.М. Тюкавкин // Основы экономики, управления и права. – 2013. – Вып. 2(8). – С. 93–97.
- Егорова С.Е. Систематизация и анализ показателей устойчивого развития организаций / С.Е. Егорова // Вестник Псковского гос. ун-та. Серия «Экономические и технические науки». – 2013. – Вып. 2. – С. 48–52.
- Григорова О.Н. Формирование механизма устойчивого развития предприятия в условиях инновационной деятельности: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / О.Н. Григорова. – Воронеж, 2004. – 192 с.
- Воротынцева А.В. Обеспечение устойчивого развития предприятия на основе формирования механизма экономической безопасности: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / А.В. Воротынцева. – Воронеж, 2010. – 190 с.
- Нагорний Є.В. Системний підхід до оптимізації процесів логістичного управління в транспортних вузлах / Є.В. Нагорний, В.С. Наумов, Я.В. Літвінова // Железнодорожный транспорт Украины. – 2014. – № 3(106). – С. 46–51.
- Бекетов Ю.А. Проблемы стратегического развития транспортных предприятий в условиях переходной экономики / Ю.А. Бекетов, А.Н. Мисюра, Н.И. Мисюра // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2005. – Вып. 29. – С. 38–43.
- Щербініна А.Ю. Стійкий розвиток підприємства як основний фактор удосконалення регіонального маркетингу / А.Ю. Щербініна // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2013. – Вип. 43. – С. 223–226.
- Boscacci F. The sustainable development of the European logistics industry: An analytic approach at micro and macro-economic levels / F. Boscacci. Режим доступа: <http://www-sre.wu-wien.ac.at/ersa/ersaconfs/ersa04/PDF/481.pdf>.
- Whitelegg J. Freight transport, logistics and sustainable development / J. Whitelegg. – A report for WWF. Режим доступа: <http://www.eco-logica.co.uk/pdf/WWFreport.pdf>.
- Шестерикова Н.В. Формирование стратегии устойчивого развития предприятия на основе системы сбалансированных показателей: дис. ... канд. экон. наук, 08.00.05 / Н.В. Шестерикова. – Н. Новгород, 2009. – 238 с.
- Гранберг А.Г. Стратегия и проблемы устойчивого развития России в XXI веке / А.Г. Гранберг, В.И. Данилов-Данильян, М.М. Циканов и др. – М.: Экономика, 2002. – 414 с.
- Шаламова О.В. Сущность и обеспечение устойчивого развития предприятия / О.В. Шаламова, А.П. Тяпухин // Вестник Южно-Уральского гос. ун-та. – 2008. – Вып. 30(130). – С. 82–90.
- Большаков Б.Е. Приложение к учебно-методическому комплексу «Теория и методология проектирования устойчивого развития социоприродных систем» / Б.Е. Большаков, С.А. Рябкова. – 2009. – 210 с. Режим доступа: http://www.yrazvitie.ru/wp-content/uploads/2010/03/Bolshakov_Ryabkova_Ponyatie-Yst-Razvitie.pdf.

16. Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodology. – N.Y.: United Nations, 1996. – 428 p.

References

1. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Access mode: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>.
2. Anpilov S.M. Sovremennyy podkhod k ustojchivomu razvitiyu predpriyatiya. *Osnovy ehkonomiki, upravleniya i prava*, 2012, vol. 1(1). pp. 53–57.
3. Tyukavkin N.M. Kontsepsiya formirovaniya strategii ustojchivogo razvitiya. *Osnovy ehkonomiki, upravleniya i prava*, 2013, vol. 2(8). pp. 93–97.
4. Egorova S.E. Sistematizatsiya i analiz pokazatelej ustojchivogo razvitiya organizatsij. *Vestnik Pskovskogo gos. un-ta. Seriya: «Ekonomicheskie i tekhnicheskie nauki»*, 2013, vol. 2. pp. 48–52.
5. Grigorova O.N. *Formirovanie mekhanizma ustojchivogo razvitiya predpriyatiya v usloviyakh innovatsionnoj deyatel'nosti*: dis. ... kand. ehkon. nauk, 08.00.05. Voronezh, 2004. 191 p.
6. Vorotyntseva A.V. *Obespechenie ustojchivogo razvitiya predpriyatiya na osnove formirovaniya mekhanizma ehkonomicheskoy bezopasnosti*: diss. ... kand. ehkon. nauk, 08.00.05. Voronezh, 2010. 190 p.
7. Nagornij Ye.V., Naumov V.S., Litvina Ya.V. Sistemnij pidkhd do optimizatsii protsesiv logistichnogo upravlinnya v transportnikh vuzlakh. *Zheleznodorozhnyj transport Ukrainy*, 2014, vol. 3(106). pp. 46–51.
8. Beketov Yu.A., Misyura A.N., Misyura N.I. Problemy strategicheskogo razvitiya transportnykh predpriyatij v usloviyakh perekhodnoj ehkonomik. *Vestnik KhNADU: sb. nauch. tr.*, 2005, vol. 29. pp. 38–43.
9. Shherbinina A.Yu. Stijkij rozvitok pidpriemstva yak osnovnij faktor udoskonalennya regional'nogo marketingu. *Visnik ekonomiki transportu i promislovosti*, 2013, vol. 43. pp. 223–226.
10. Boscacci F. The sustainable development of the European logistics industry: An analytic approach at micro and macro-economic levels. Available at: <http://www.sre.wu-wien.ac.at/ersa/ersaconfs/ersa04/PDF/481.pdf>.
11. Whitelegg J. Freight transport, logistics and sustainable development. A report for WWF. Available at: <http://www.ecologica.co.uk/pdf/WWFreport.pdf>.
12. Shesterikova N.V. *Formirovanie strategii ustojchivogo razvitiya predpriyatiya na osnove sistemy sbalansirovannykh pokazatelej*: dis. ... kand. ehkon. nauk, 08.00.05. N. Novgorod, 2009. 238 p.
13. Granberg A.G., Danilov-Danil'yan V.I., Tsikanov M.M. Strategiya i problemy ustojchivogo razvitiya Rossii v XXI veke. Moscow, Ekonomika Publ., 2002. 414 p.
14. Shalamova O.V., Tyapukhin A.P. Sushhnost' i obespechenie ustojchivogo razvitiya predpriyatiya. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gos. un-ta*, 2008, vol. 30(130). pp. 82–90.
15. Bol'shakov B.E., Ryabkova S.A. Prilozhenie k uchebno-metodicheskomu kompleksu «Teoriya i metodologiya proektirovaniya ustojchivogo razvitiya sotsio-prirodnykh sistem», 2009. 210 p. Available at: http://www.yrazvitie.ru/wp-content/uploads/2010/03/Bolshakov_Ryabkova_Ponyatie-Yst_Razvitie.pdf.
16. Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodology. – N.Y., United Nations Publ., 1996. 428 p.

Рецензент: П.Ф. Горбачов, профессор, д.т.н. ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 19 декабря 2014 г.