

DOI: 10.31319/2519-8106.1(52)2025.324015

UDC 656.12.83

Shmatko Dmytro, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of automobiles and transport and logistics systems

Шматко Д.З., кандидат технічних наук, доцент, кафедра автомобілів та транспортно-логістичних систем

ORCID: 0000-0001-7447-5955

e-mail: shmatkodima@ukr.net

Sasov Oleksandr, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of automobiles and transport and logistics systems

Сасов О.О., кандидат технічних наук, доцент, кафедра автомобілів та транспортно-логістичних систем

ORCID: 0000-0002-8697-6324

e-mail: sasov@ukr.net

Savenkov Ivan, undergraduate student, Department of automobiles and transport and logistics systems

Савенков І.С., здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, кафедра автомобілів та транспортно-логістичних систем

e-mail: IvSavenkov@gmail.com

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

METHOD OF STOCHASTIC MODELING WHEN CALCULATING THE OPTIMAL STRUCTURE OF THE ROLLING STOCK OF A MOTOR VEHICLE ENTERPRISE

МЕТОД СТОХАСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ РОЗРАХУНКУ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ РУХОМОГО СКЛАДУ АТП

Nowadays, the task of increasing the efficiency of small-batch cargo transportation is relevant for a number of reasons. First, with the development of small and medium-sized businesses in the trade and construction sectors, there is a significant need for small-batch cargo transportation of a wide range of goods to a large number of consumers who differ in different levels of demand and its fluctuations. Second, the presence of a large number of companies engaged in road transportation of goods has significantly intensified competition in the market of motor transport services, which forces vehicle owners to look for new competitive advantages. Third, small-batch transportation is mostly carried out by the transport systems of medium-sized and small cities, which impose a number of technical restrictions and complicate the process of organizing the transportation of small-batch cargo. Fourth, the organization of small-batch transportation in urban transport systems is associated with the analysis of large data sets: the number of suppliers, the number of carriers, the number of consignees, the number and carrying capacity of vehicles, the volume of demand for each consignee. As a result, the delivery of small-batch cargo is much more expensive than the delivery of bulk cargo.

The article presents a stochastic modeling method for calculating the optimal structure of the rolling stock of a motor transport enterprise, which takes into account random factors associated with the unevenness and uncertain volume of cargo transportation.

Keywords: modeling, cargo, structure, load capacity, vehicle, probability.

Внаслідок того, що все більше і більше з'являються приватні перевізники для доставки масових вантажів відправниками, маятникові маршрути отримали широке застосування. Ними мало використовуються економічні та математичні методи планування транспортних

систем. Однак поширене застосування маятникових маршрутів не завжди позитивно позначається на собівартості перевезень.

При доставці вантажів по радіальних маршрутах завантаження вантажів здійснюється в одному центральному пункті і розвозиться по декільком периферійним або навпаки. Організація роботи автомобілів на такому маршруті набагато складніша, ніж на кільцевому і тим більш на маятниковому, в наслідок перетину вантажних потоків в центральному пункті

У теперішній час задача підвищення ефективності перевезень дрібнопартійних вантажів є актуальною з цілого ряду причин. По-перше, з розвитком малого і середнього підприємництва в торгівельній і будівельній сферах виникає значна потреба в дрібнопартійних перевезеннях вантажів широкої номенклатури до великої кількості споживачів, які відрізняються різним рівнем попиту і його коливаннями. По-друге, наявність великої кількості компаній, які здійснюють автомобільні перевезення вантажів, значно загострила конкуренцію на ринку автотранспортних послуг, що змушує власників автотранспорту шукати нові конкурентні переваги. По-третє, дрібнопартійні перевезення більшою частиною припадають на транспортні системи середніх і малих міст, які накладають ряд технічних обмежень та ускладнюють процес організації перевезень дрібнопартійних вантажів. По-четверте, організація дрібнопартійних перевезень в транспортних системах міст пов'язана з аналізом великих масивів даних: кількість постачальників, кількість перевізників, число вантажеотримувачів, кількість і вантажопідйомність автомобілів, обсяг попиту по кожному вантажеотримувачу. У результаті, доставка дрібнопартійних вантажів коштує значно дорожче, ніж доставка масових вантажів.

У статті наведена методика стохастичного моделювання розрахунку оптимальної структури рухомого складу автотранспортного підприємства, яка враховує випадкові фактори, пов'язані з нерівномірністю і невизначеним обсягом перевезення вантажів.

Ключові слова: моделювання, вантаж, структура, вантажопідйомність, автомобіль, вірогідність.

Problem's Formulation

When choosing vehicles to complete the fleet for road transport services of a particular facility, the most important factor, in addition to the type of rolling stock, the type of cargo being transported, and other factors, is the most complete correspondence of the vehicle capacity to the size of the cargo lots presented for transportation. In this case, optimal use of vehicles of each type is ensured due to the presence of the required number of vehicles with the required load capacity in the fleet. In most cases, it is impossible to establish exactly at what point a certain volume of cargo is required to be transported, since even when servicing permanent facilities, due to fluctuations in cargo flows and production and consumption volumes, cargo lots of different volumes (masses) are presented for transportation.

Analysis of recent research and publications

Due to the fact that more and more private carriers are appearing for the delivery of bulk cargo by senders, shuttle routes have become widely used. They make little use of economic and mathematical methods of planning transport systems. However, the widespread use of shuttle routes does not always have a positive effect on the cost of transportation [1—3].

When delivering cargo along radial routes, cargo is loaded at one central point and transported along several peripheral ones or vice versa. The organization of the work of vehicles on such a route is much more complicated than on a ring route and even more so on a shuttle route, due to the intersection of cargo flows at the central point [4,5].

Delivery routes are usually used for intra-city service. A typical example of this is the transportation of food products to the retail network. For this type of cargo, vans are usually used, although flatbed trucks can also be used. Typically, vans with a shipping weight of up to two tons are used, which is more than 40% of the transportation volume. However, it should be added that such routes have also become widespread in intercity traffic, due to their cost-effectiveness [6—8].

One way to increase the efficiency of delivery routes can be to deliver cargo batches through the previous or several previous unloading points [9,10]. This will reduce the amount of empty runs and increase labor productivity in general. However, the theory of these routes is not fully developed.

In particular, the criteria for such an application when it is advisable to deliver cargo batches through a point where unloading has already taken place have not been studied. It should be noted that arrival through points where unloading has already taken place can create subcycles on the route.

Formulation of the study purpose

In connection with the requirements of transporting a certain volume of cargo, the size of the batch can be considered a random variable and to describe its fluctuations it is necessary to use the laws of distribution of random variables. That is, the task is reduced to dividing the interval of fluctuations of the size of the batch of cargo (from q_{\min} to q_{\max}) into subintervals in accordance with the carrying capacity of vehicles that are available or planned to be purchased by the transport company and determining the required number of them for transporting batches of cargo in each subinterval. In this case, if the sizes of the batches of cargo change over large intervals, then to describe their distribution it is better to use discrete distribution laws, in which the random variable can take fixed values.

Presenting main material

The probability of a discrete quantity q falling into an interval bounded by the values $q_{i\min}$ i $q_{i\max}$ will look like

$$P(q_{i\min} \leq q \leq q_{i\max}) = \sum_{q=q_{i\min}}^{q=q_{i\max}} P(q_i) = F(q_{i\max}) - F(q_{i\min}), \quad (1)$$

where $P(q)$ — the probability that a random variable will be equal to q ; $F(q_{i\max})$ — value of the distribution function of a random variable at $q = q_{i\max}$; $F(q_{i\min})$ — value of the distribution function of a random variable at $q = q_{i\min}$.

If a random variable is given on a continuous interval, then the probability of it falling into the given interval will be

$$P(q_{i\min} < q < q_{i\max}) = \int_{q=q_{i\min}}^{q=q_{i\max}} f(q) dq = F(q_{i\max}) - F(q_{i\min}). \quad (2)$$

For most distribution laws, the values of the distribution functions are tabulated. For example, for a random variable that is distributed according to a normal law with parameters \bar{a} — mathematical expectation and σ — standard deviation, tables are compiled for the values of the probability integral F .

$$P(q_{i\min} < q < q_{i\max}) = F\left(\frac{q_{i\max} - \bar{a}}{\sigma}\right) - F\left(\frac{q_{i\min} - \bar{a}}{\sigma}\right). \quad (3)$$

Let us consider the application of the calculation method for a single-type (by specialization) fleet of motor vehicles in the operating conditions of the motor transport enterprise LLC "ETALON-PAK". Distribution of the volumes of consignments of packaged and piece goods arriving at the railway station of the city of Kamianske. Average size of a consignment of cargo $q_{cp} = 1,25$ tons. Minimum consignment size $q_{\min} = 0,5$ tons. To transport 10 thousand tons of cargo from the station per year, a motor transport company can use a rolling stock, the data on which are given in Tabl. 1. Average length of a cargo journey $l_{dc} = 15$ km; mileage utilization rate $\beta = 0,5$; working hours on the route $T_r = 7$ hours.

Table 1. Rolling stock input data

Technical and operational indicators	Rolling stock model		
	Ford Transit	TATA-613	MAN TGM
Technical speed, V , km/h	30	26	24
Load capacity, q , tons	1,0	2,5	8,0
Loading and unloading time, t_{l-u} , hours	0,5	0,9	1,4
Release rate, \bar{b}	0,75	0,8	0,7

It is necessary to determine how many cars of each model are required to transport cargo arriving at the railway station.

The interval of changing the size of cargo lots is distributed according to the models of rolling stock available at the motor transport enterprise LLC "ETALON-PAK". Cargo lots from 0.5 to 1 tons are advisable to be transported by Ford Transit cars (we will denote its model 1); from 1 to 2.5 tons — by TATA-613 cars (model 2); from 2.5 to 8 tons — by MAN TGM cars (model 3) and more than 8 tons — by MAN TGM cars in two or more trips.

The probability of arrival of a cargo lot at the railway station in a certain range is determined for each model of rolling stock by formula (2) using the probability distribution function for the exponential law:

$$\begin{aligned} P_1 &= F(1) - F(0,5) = 1 - \exp(-1,25(1 - 0,5)) - [1 - \exp(-1,25(0,5 - 0,5))] = \\ &= \exp(-0) - \exp(-0,625) = 1 - 0,535 = 0,465; \\ P_2 &= F(2,5) - F(1) = \exp(-0,625) - \exp(-2,5) = 0,453; \\ P_3 &= F(8) - F(2,5) = \exp(-2,5) - \exp(-9,375) = 0,082. \end{aligned}$$

The probability that a shipment of cargo from 8 to 16 tons will arrive and it will be necessary to make two trips on a MAN TGM vehicle will be

$$P_4 = F(16) - F(8) = \exp(-9,375) - \exp(-19,375) = 0,000008 \approx 0.$$

The resulting probability value is so small that it can be neglected, which means there is no need to consider the possibility of performing three or more trips.

The total number of cargo batches arriving at the station will be

$$N = \frac{Q}{q_{av}}, \quad (4)$$

$$N = \frac{10000}{1,25} = 8000 \text{ consignment of cargo.}$$

The number of trips required to transport the cargo will be equal to

$$n_r = N \sum (P_i + jP_j); \quad (5)$$

$$n_r = 8000(0,465 + 0,453 + 0,082 + 2 \cdot 0) = 8000 \text{ rides,}$$

where P_i — the probability of receipt of cargo consignments, the transportation of which requires one trip of rolling stock of a certain carrying capacity; i — number of rolling stock models; P_j — the probability of receiving cargo shipments that require several trips of the same model of rolling stock; j — number of rides.

We calculate the number of trips that each model of car needs to make

$$n_i = N \cdot P_i, \quad (6)$$

$$n_{i1} = 8000 \cdot 0,465 = 3720 \text{ rides.}$$

$$n_{i2} = N \cdot P_2, \quad (7)$$

$$n_{i2} = 8000 \cdot 0,453 = 3624 \text{ rides.}$$

$$n_{i3} = N \cdot P_3, \quad (8)$$

$$n_{i3} = 8000 \cdot 0,082 = 656 \text{ rides.}$$

Now you can determine how many trips one vehicle can make per year using the equation

$$n_{ry} = \frac{365 \cdot \alpha \cdot T_r \cdot \beta \cdot v_T}{l_{dc} + v_T \beta \cdot t_{1-u}}, \quad (9)$$

where α — release rate; T_r — vehicle operating time on the route, год; β — vehicle mileage utilization ratio; l_{dc} — distance traveled by a car with cargo, год; v_T — technical speed, km/h; t_{1-u} — downtime under load (unload), hours. For the first car model, it will be

$$n_{ry1} = \frac{365 \cdot 0,75 \cdot 7 \cdot 0,5 \cdot 30}{15 + 30 \cdot 0,5 \cdot 0,5} = 1277 \text{ rides.}$$

Similarly, for other rolling stock models, the number of trips will be

$$n_{ry2} = 995 \text{ rides};$$

$$n_{ry3} = 674 \text{ rides.}$$

Then the required number of rolling stock to transport a given volume of cargo from the railway station will by

$$A_{m1} = \frac{n_{i1}}{n_{ry1}}; \quad (10)$$

$$A_{m1} = \frac{3720}{1277} = 2,91 \text{ car.}$$

We accept $A_{m1} = 3$ car.

$$A_{m2} = \frac{3624}{995} = 3,64 \text{ car.}$$

We accept $A_{m2} = 4$ car.

$$A_{m3} = \frac{656}{674} = 0,97 \text{ car.}$$

We accept $A_{m3} = 1$ car.

Conclusions

The proposed stochastic modeling technique allows taking into account random factors when calculating the optimal structure of the rolling stock fleet of a motor transport enterprise, which in turn allows for the creation of freight transportation schedules for each vehicle model. The technique is aimed at determining the number of trips that must be made by vehicles of each model per year.

References

- [1] Bosnyak M.G. (2013). *Vantazhni avtomobilni perevezennya: Navchalniy posibnik 2-ge vidannya [Freight transport: textbook]*. Vidavnichiy DIM „Slovo”. [in Ukrainian].
- [2] Kanarchuk V.Ie., Kurnikov I.P. (2017). *Vyrobnychi systemy na transporti: pidruchnyk. [Production systems in transport: textbook]*. Kyiv: Vyshcha shkola. [in Ukrainian].
- [3] Oliskevych M.I. (2017). *Orhanizatsiia avtomobilnykh perevezen. Chastyna 1. Vantazhni perevezennia. [Organization of road transportation. Part 1. Freight transportation: textbook]*. Lviv: Lvivska politehnika. [in Ukrainian].
- [4] Krasnokutskyi V. M., Samorodov V. B., Selevych S. H.. (2020) *Spetsializovanyi rukhomyi sklad na avtomobilnomu transporti: navchalnyi posibnyk.[Specialized mobile warehouse for road transport: textbook]*. Kharkiv: Drukarnia Madryd. [in Ukrainian].
- [5] Kyslyi V.M., Bilovodska O.A., Olefirenko O.M. (2015). *Lohistyka: teoriia ta praktyka: navch. posib. [Logistics: theory and practice: textbook]*. Kyiv: Tsentр uchbovoi literatury. [in Ukrainian].
- [6] Shmatko D., Korobochka O., Aver’yanov V., Sasov O., Vernigora V. (2020). *Organizatsiya ta planuvannya avtomobilnih vantazhnih perevezen: monohrafiia [Organization and planning of road freight: textbook]*. Kam’yanske: DDTU. [in Ukrainian].
- [7] Shmatko D.Z., Kochneva O.V, Persan V.V. (2014). Vrakhuvannya vypadkovykh faktoriv metodamy modeliuvannya pry rozrakhunku optimalnoi struktury parka ATP. [Taking into account random factors by modeling methods when calculating the optimal structure of the fleet of a motor transport enterprise]. *Mizhnarodna naukova konferentsiia „Matematychni problemy tekhnichnoi mekhaniky”*. Dniprodzerzhynsk: DDTU. 115. [in Ukrainian].
- [8] Shmatko D.Z., (2023). Statystychnе predstavlenня partionnosti vantazhnykh perevezen. [Statistical presentation of freight transportation partisanship]. *Materialy XXXII Mizhnarodnoi naukovoї konferentsii здobuvachiv vyshchoї osvity i molodykh uchenykh «Nauka i vyshcha osvita», Klasychnyi pryvatnyi universytet. Zaporizhzhia, 8 lystopada 2023.* 523-524. [in Ukrainian].

- [9] Zin E.A. (2011). *Upravlinnia avtomobilnym transportom: navch. posibnyk. [Road transport management: textbook]*. Rivne: NUVHP. [in Ukrainian].
- [10] Tkhoruk Ye.I., Kucher O.O., Doroshchuk V.O. (2015). *Vantazhni perevezennia. Praktikum: navch. posibnyk. [Freight transportation: textbook]*. Rivne: NUVHP. [in Ukrainian].

Список використаної літератури

1. Босняк М.Г. Вантажні автомобільні перевезення: навчальний посібник 2-ге видання. Київ: Видавничий Дім „Слово”, 2013. 408 с.
2. Канарчук В.Є., Курніков І.П. Виробничі системи на транспорті: підручник. Київ: Вища школа, 2017. 359 с.
3. Оліскевич М.І. Організація автомобільних перевезень. Частина 1. Вантажні перевезення. Львів: Львівська політехніка, 2017. 336 с.
4. Краснокутський В.М., Самородов В.Б., Селевич С.Г. Спеціалізований рухомий склад на автомобільному транспорті: навчальний посібник. Харків: Друкарня Мадрид, 2020. 240 с.
5. Кислий В.М., Біловодська О.А., Олефіренко О.М. Логістика: теорія та практика: навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2015. 360 с.
6. Шматко Д.З., Коробочка О.М., Авер'янов В.С., Сасов О.О., Вернигора В.Д. Організація та планування автомобільних вантажних перевезень: монографія. Кам'янське: ДДТУ, 2020. 168 с.
7. Шматко Д.З., Кочнева О.В, Персань В.В. Врахування випадкових факторів методами моделювання при розрахунку оптимальної структури парку АТП. *Міжнародна наукова конференція „Математичні проблеми технічної механіки”*. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014. С. 115.
8. Шматко Д.З. Статистичне представлення партійності вантажних перевезень. Матеріали XXXII Міжнародної наукової конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Наука і вища освіта», Класичний приватний університет, м. Запоріжжя, 8 листопада 2023 р. С. 523–524.
9. Зінь Е.А. Управління автомобільним транспортом: навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2011. 326 с.
10. Тхорук Є.І., Кучер О.О., Дорошук В.О. Вантажні перевезення. Практикум: навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2015. 132 с.

Надійшла до редколегії 25.02.2025