



RS Global  
Journals

Scholarly Publisher  
RS Global Sp. z O.O.  
ISNI: 0000 0004 8495 2390

Dolna 17, Warsaw, Poland 00-773  
Tel: +48 226 0 227 03  
Email: editorial\_office@rsglobal.pl

---

<b>JOURNAL</b>	Science Review
<b>p-ISSN</b>	2544-9346
<b>e-ISSN</b>	2544-9443
<b>PUBLISHER</b>	RS Global Sp. z O.O., Poland
<b>ARTICLE TITLE</b>	РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ПАРКУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ
<b>AUTHOR(S)</b>	Лебідь І. Г., Ануфрієва Т. Г., Лужанська Н. О.
<b>ARTICLE INFO</b>	Iryna Lebid, Tetyana Anufriyeva, Luzhanska Nataliia. (2021) Development of Methodology for Transportation Fleet Structure Formation. Science Review. 1(36). doi: 10.31435/rsglobal_sr/30012021/7373
<b>DOI</b>	<a href="https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30012021/7373">https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30012021/7373</a>
<b>RECEIVED</b>	05 November 2020
<b>ACCEPTED</b>	10 January 2021
<b>PUBLISHED</b>	15 January 2021
<b>LICENSE</b>	 This work is licensed under a <b>Creative Commons Attribution 4.0 International License</b> .

---

© The author(s) 2021. This publication is an open access article.

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ПАРКУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Лебідь І. Г., к.т.н., доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0707-4179>

Ануфрієва Т. Г., старший викладач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8052-0852>

Лужанська Н. О., старший викладач кафедри транспортних технологій, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1271-8728>

DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_sr/30012021/7373](https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30012021/7373)

---

### ARTICLE INFO

Received 05 November 2020  
Accepted 10 January 2021  
Published 15 January 2021

### KEYWORDS

vehicles, fleet structure, prime cost, carrying capacity, transportation.

### ABSTRACT

The paper proposes a methodology for transportation fleet structure formation based on the determination of the standard size fleet by carrying capacity using the criterion of the cost of transportation of 1 ton of cargo, which will be expedient if the number of shipments per day exceeds three times the estimated number of the model range of cars. At a lower intensity of daily shipments, it is necessary to form a standard size range of a vehicle fleet on the basis of a repetition of independent tests.

The paper proposes a method of forming the structure of the fleet of vehicles based on determining the size of the fleet using the criterion of the cost of transportation of 1 ton of cargo, which is appropriate if the number of shipments per day exceeds three times the estimated number of cars. With a lower intensity of daily shipments, it is necessary to form a standard size range of the fleet on the basis of repeating independent tests.

It has been established that the value of the coefficient of static use of the vehicle's carrying capacity is influenced by the number of intervals for dividing the series of carrying capacity, their length and uniformity, as well as the distribution law of the random value of the item. Violation of the uniformity of the intervals of the series of the carrying capacity of the car, the value of the coefficient can deviate from the average to 6.2%

An increase in the number of intervals in a number of carrying capacities of vehicles from 2 to 3 contributes to a rapid increase in the coordination of the density of distribution of the batch volume and shipment to the structure of the vehicle fleet in terms of carrying capacity and is characterized by an increase in the coefficient of compliance on average from 0.65 to 0.75. An increase in the range of carrying capacity up to interval 5 increases the value of the compliance coefficient to 0.8, a further increase in the intervals causes an inversely proportional increase in the compliance coefficient. An increase in the number of car models from 1 to 3 causes a decrease in the cost of transportation in the range of 8% - 11.3%, depending on the degree of use of the vehicle fleet. Further expansion of the model range to 7 units practically does not affect the cost of transportation, and then its growth is observed due to an increase in the duration of downtime while waiting for the proper consignment.

It was revealed that an increase in the average weight of a shipment by 2.3 times causes a decrease in the cost of transportation 1.79 times, and with this decrease in the weight of a shipment, an increase in the intensity of growth in the cost of transportation is observed.

---

**Citation:** Iryna Lebid, Tetyana Anufriyeva, Luzhanska Nataliia. (2021) Development of Methodology for Transportation Fleet Structure Formation. *Science Review*. 1(36). doi: 10.31435/rsglobal\_sr/30012021/7373

---

**Copyright:** © 2021 Iryna Lebid, Tetyana Anufriyeva, Luzhanska Nataliia. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

---

**Вступ.** У багатьох дослідженнях [1-4] автори відмічають, що структура парку автомобілів, при всіх інших рівних умовах, визначає вартість доставки вантажів. Тому рішення задачі формування парку транспортних засобів є актуальним і потребує наукового обґрунтування.

Основним науково обґрунтованим висновком, викладеним в [1], є те що для визначення ймовірності вимог на перевезення автомобілями різної вантажопідйомності достатньо встановити характер розподілу розмірів партій вантажів та середньодобовий виробіток цих автомобілів. До аналогічного результату прийшов автор роботи [2], який на основі застосування апарату теорії нечітких множин встановив доцільність використання при перевезеннях заданих партій відправлень автомобілів найближчої більшої вантажопідйомності. В роботі [3] автором запропоновано створити надлишок вантажних модулів, враховуючи, що вартість їх експлуатації значно нижча за вартість експлуатації рухомого складу, тим самим забезпечив їх оптимальне співвідношення в структурі парку. В роботі [4] автором зазначено, що на поточний момент часу алгоритм визначення оптимального парку автомобілів не розроблений. Він пропонує по кожному інтервалу маси відправлення, отриманому за допомогою функції розподілу Вейбулла, підбирати парк автомобілів в залежності від обсягу перевезення та техніко-експлуатаційних характеристик роботи автотранспортних засобів шляхом перебору їх можливих значень.

В жодній з розглянутих робіт не розглядалось питання формування типорозмірного ряду парку автомобілів за вантажопідйомністю.

Таким чином, метою даної роботи є розробка методики формування структури парку транспортних засобів.

#### **Вхідні дані та методи.**

Отже, в якості основних принципів формування структури парку транспортних засобів доцільно використати наступні:

- розподіл щільності маси середньодобових відправлень повинен відповідати розподіл парку автомобілей за вантажопідйомністю;
- області використання автомобілів визначається собівартістю перевезень та перевізною здатністю;
- мінімальна кількість моделей транспортних засобів для виключення простоїв із-за відсутності доцільної маси відправлення автомобілем певної вантажопідйомності.

При виконанні вантажних перевезень на розвізних маршрутах ефективність транспортного процесу визначається лише собівартістю перевезення 1 т вантажу, яку у загальному випадку можна представити як:

$$C_{qi} = a + \frac{b}{q_i \gamma_i}, \quad (1)$$

де  $a$  і  $b$  – коефіцієнти.

Так як розмежування суміжних за типорозміром транспортних засобів повинно включати однакові значення собівартості перевезень справедливим є відношення:

$$q_i = q_{i-1} \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_{\min}}, \quad (2)$$

де:  $\gamma_{\max}$  і  $\gamma_{\min}$  – відповідно, максимальне і мінімальне значення коефіцієнту статичного використання вантажопідйомності транспортного засобу на розвізному маршруті.

При цьому мінімальне значення коефіцієнту статичного використання вантажопідйомності можливо визначити на основі собівартості перевезень.

Припустимо, що  $\gamma_{\min}$  приймає однакове значення для всіх моделей різної вантажопідйомності. Тоді з урахуванням (2) типорозмірний ряд парку автомобілів визначається залежностями:

$$q_{\min} \quad (3)$$

$$q_1 = q_{\min} \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_{\min}}, \quad (4)$$

$$q_2 = q_1 \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_{\min}}, \tag{5}$$

... ..

$$q_{\max} = q_{m-1} \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_{\min}}. \tag{6}$$

Звідки:

$$q_{\max} = q_{\min} \left( \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_{\min}} \right)^m \tag{7}$$

$$m = \left[ \frac{\ln \frac{q_{\max}}{q_{\min}}}{\ln \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_{\min}}} \right]. \tag{8}$$

де  $\lceil \cdot \rceil$  – оператор цілочисельного рішення.

$m$  – кількість моделей автомобілів в автопарку за виключенням моделі з мінімальною вантажопідйомністю.

Загальна кількість необхідних моделей транспортних засобів в автопарку за вантажопідйомністю становитиме:

$$n = m + 1 \tag{9}$$

Аналіз залежності (8) свідчить, що підвищення мінімального значення коефіцієнту використання вантажопідйомності викликає збільшення кількості моделей автомобілів автопарку. Аналогічний результат спостерігається при розширенні діапазону зміни вантажопідйомності автомобіля.

З урахуванням того, що вантажопідйомність транспортного засобу визначається однозначно масою максимального добового збірного відправлення, то розрахунок необхідно починати з автомобіля відповідної вантажопідйомності.

З динаміки складних систем відомо, що режим стійкої рівноваги досягається після третього повтору циклічного процесу. Тому використання запропонованого способу формування структури парку доцільне, якщо кількість відправлень за добу перевищує у тричі кількість моделей автопарку. Якщо ця умова не виконується, то формувати структуру автопарку за вантажопідйомністю пропонується на основі повтору незалежних випробувань.

Нехай щоденно потребує перевезення збірна партія вантажу, яку можливо виконати автомобілем вантажопідйомністю  $q_i$ , з незмінною ймовірністю рівною  $p$  ( $0 < p < 1$ ). Звідси ймовірність відсутності даної партії вантажу щодня на протязі всього планового періоду  $T_n$  також буде незмінною і рівною  $1 - p$ . Тоді ймовірність того, що в серії із  $n$  незалежних випробувань ця партія вантажу буде сформована рівно  $k$  разів визначає формула Бернуллі [5]:

$$P_{n(k)} = \frac{n!}{k(n-k)} \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k} \tag{10}$$

Ймовірність того, що в  $n$  повторах визначену партію вантажу спостерігатимуть не менше  $k_1$  та не більше  $k_2$  разів:

$$P_n(k_1 \leq k \leq k_2) = \sum_{i=k_1}^{k_2} P_n(i) \tag{11}$$

Знання кількості добових відправлень вантажу –  $n_d$  дозволяє встановити значення  $n$ :

$$n = n_d \cdot T_n \tag{12}$$

Значно спрощує рішення задачі розрахунок найімовірнішого числа появи подій  $m_0$ , тобто настання події в повторах має ймовірність, що перевищує або не менше ймовірності

інших можливих результатів випробувань. Найімовірніше число появи подій  $m_0$  визначають із подвійної нерівності [6, 7]:

$$np - (1 - p) \leq m_0 \leq np + p \tag{13}$$

Якщо число  $np - (1 - p)$  дробове, то існує одне значення  $m_0$ ; якщо  $np - (1 - p)$  ціле, то існує два значення  $m_0$  та  $m_0 + 1$ ; якщо  $np$  ціле, то  $m_0 = np$ .

**Результати досліджень.**

Розглянемо приклад. Визначимо структуру автопарку за вантажопідйомністю за умови, якщо  $T_n = 7$  діб,  $n_d = 1$ , тривалість оборотного рейсу складає 2 доби. Тоді  $n = 7$ , а найбільша кількість рейсів автомобіля  $k = \lceil 7/2 \rceil = 3$  (рейси). Вхідні дані наведені в табл. 1, а результати розрахунку – в табл. 2.

Таблиця 1. Розподіл маси збірних відправлень

Діапазон маси відправлення, т	4,8 ÷ 5,6	4,0 ÷ 4,8	3,2 ÷ 4,0	2,8 ÷ 3,2	2,0 ÷ 2,8	1,2 ÷ 2,0	0,4 ÷ 1,2
Ймовірність відправлення	0,07	0,13	0,09	0,19	0,16	0,25	0,11

*Авторская разработка*

Таблиця 2. Результати розрахунку структури автопарку за вантажопідйомністю

Діапазон маси відправлення, т	Середня маса відправлення, т	Коефіцієнт використання вантажопідйомності	$p$	$np - (1 - p)$	$np + p$	$m_0$	$P_{7(1 \leq k \leq 3)}$
Вантажопідйомність – 5,6 т							
4,8 ÷ 5,6	5,20	0,929	0,07	-0,44	0,56	0	0,3975
4,0 ÷ 5,6	4,68	0,836	0,2	0,6	1,6	1	0,7569
3,2 ÷ 5,6	4,34	0,775	0,29	1,32	2,32	2	0,7956
2,8 ÷ 5,6	3,81	0,680	0,48	2,84	3,84	3	0,5333
Вантажопідйомність – 3,2 т							
2,8 ÷ 3,2	3,00	0,938	0,19	0,52	1,52	1	0,7433
2,0 ÷ 3,2	2,82	0,881	0,35	1,8	2,8	2	0,7511
1,2 ÷ 3,2	2,48	0,775	0,6	3,8	4,8	4	0,2882
Вантажопідйомність – 2,0 т							
1,2 ÷ 2,0	1,60	0,8	0,25	1	2	2	0,7960
0,4 ÷ 2,0	1,36	0,68	0,36	1,88	2,88	2	0,7394

*Авторская разработка*

Отже, для виконання перевезень необхідно в автопарку мати автомобілі вантажопідйомністю 5,6 т; 3,2 т і 2,0 т. Перевезенню автомобілем вантажопідйомністю 5,6 т підлягають відправлення масою 3,2 ÷ 5,6 т. Подальше розширення діапазону маси відправлення викликає суттєве падіння експлуатаційних показників. Критерієм розмежування ряду вантажопідйомності є падіння значення  $P_n(k1 \leq k \leq k2)$  в процесі розширення діапазону маси відправлення, або зменшена найімовірнішого числа появи подій на 1 так, як його визначення передбачає наявність більшого числа подій але з меншою ймовірністю.

Теоретично доведено, що найбільшу ефективність використання парку автомобілів можливо досягти, якщо розподіл обсягу відправлень партій вантажів відповідає розподілу парку автомобілів за вантажопідйомністю. Таким результатом є досяжний при наявності великих обсягів перевезень та значної кількості автомобілів на підприємстві. У випадку малочисельних автопідприємств виникає питання про апроксимацію розподілу обсягів відправлень, як правило безперервну випадкову величину, декількома дискретними величинами. Тому важливо встановити вплив кількості автотранспортних засобів на показники їх використання. Одним з таких показників є коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності автомобіля, що визначають як відношення вантажу до максимального розрахункового завантаження. Даній величині відповідає відношення площі, яка обмежена кривою розподілу випадкової величини та інтервалом її зміни, до площі, яка є добутком найбільших значень інтервалу та кривої розподілу (рис. 1).

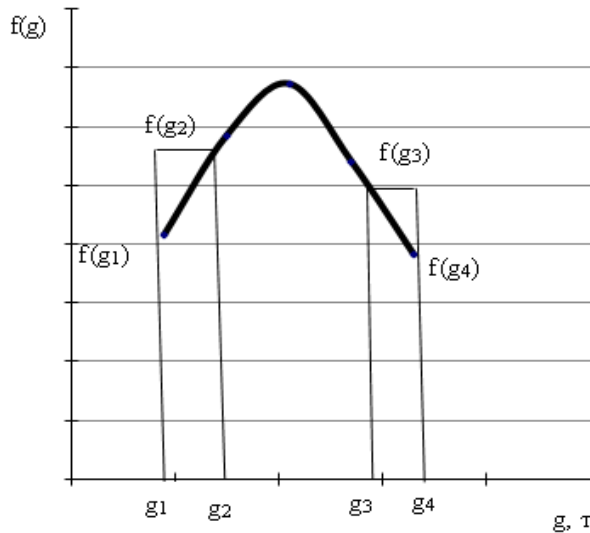


Рис. 1. Графічне зображення принципу апроксимації безперервної величини дискретною

Розрахункова формула для лівої частини графіку:

$$\gamma_{g_2} = \frac{S_{g_1 f(g_1) f(g_2) g_2}}{l_{g_1 g_2} \times f(g_z)} \quad (14)$$

де  $S_{g_1 f(g_1) f(g_2) g_2}$  – площа фігури обмежена відповідними вершинами;  
 $l_{g_1 g_2}$  – довжина інтервалу розподілу між значеннями  $g_1$  і  $g_2$ .

Для правої частини графіку розрахунки виконані за формулою:

$$\gamma_{g_4} = \frac{S_{g_2 (g_2) f(g_4) g_4}}{l_{g_3 g_4} \times f(g_3)} \quad (15)$$

Результати виконаного дослідження підтверджують відомий факт, що із збільшенням кількості інтервалів апроксимації площі обмеженою кривою і лінією абсцис прямокутниками відхилення між їх площами зменшується

Розрахунки виконані для можливої зміни ряду вантажопідйомності автомобілів, що використовуються в міському та приміському сполученні. Перший діапазон значень було прийнято в межах 1 ÷ 11 т із середнім  $m = 6$  т, другий – в межах 1 ÷ 7 т із середнім  $m = 4$  т, третій – в межах 0,5 ÷ 5,2 т із середнім  $m = 2,6$  т. В результаті виявлено, що на величину коефіцієнту статичного використання вантажопідйомності автомобіля впливає кількість інтервалів розбиття ряду вантажопідйомності ( $n$ ), їх довжина та рівномірність, а також закон розподілу випадкової величини відправлення (рис. 2). У разі нерівномірних інтервалів ряду вантажопідйомності автомобіля значення коефіцієнту може відхилитись від середнього до 6,2%.

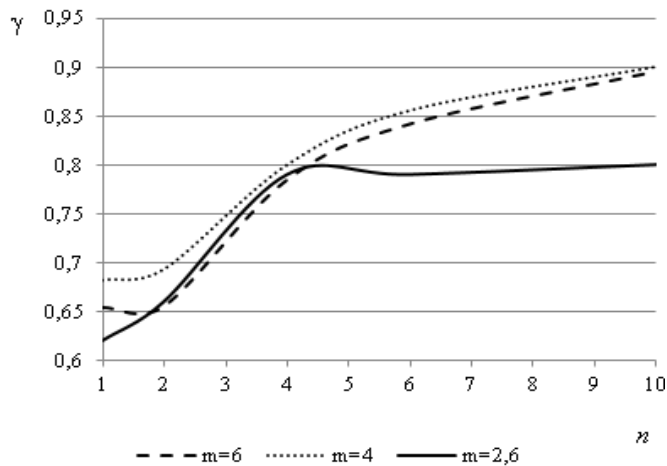


Рис. 2. Відносна зміна покриття графіку щільності розподілу відправлення від кількості гістограм вантажопідйомності автомобіля.

З рис. 2 видно, що найшвидше зростання відповідності розподілів відправлень та вантажопідйомності спостерігається на ділянці від 3 до 5 інтервалів поділу, що відповідає структурі парку автомобілів від 3 до 5 моделей.

При цьому, чим вужчий діапазон зміни обсягів відправлень тим менше значення матиме використання вантажопідйомності, що за теоретичними викладками обернено пропорційно збільшуватиме собівартість перевезень. Для перевірки цього твердження на основі моделі було виконано розрахунки з визначення собівартості роботи автомобільного парку при різних кількості марок автомобілів (рис. 3) та середньому обсягу відправлення (рис. 4).

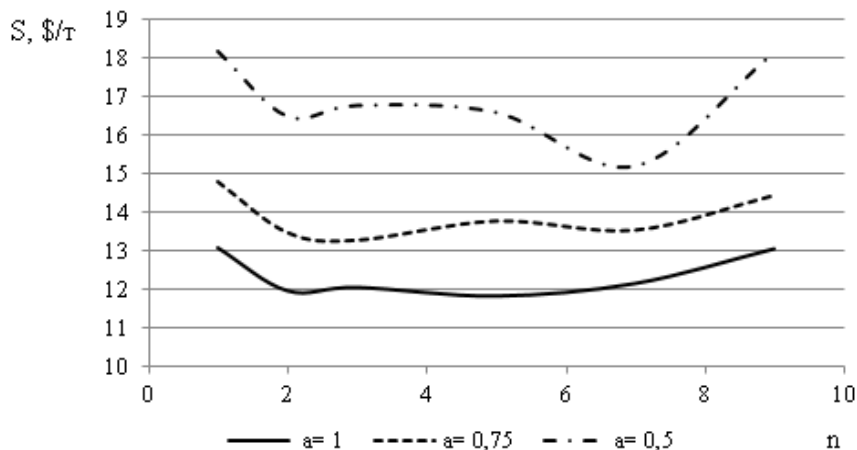


Рис. 3. Залежність собівартості перевезень від кількості моделей автомобілів ( $n$ ) та коефіцієнту використання автопарку ( $\alpha$ ) при середньому обсязі відправлення  $g = 6$  т.

Аналіз результатів розрахунків свідчить, що збільшення кількості моделей за вантажопідйомністю від 3 до 7 практично не впливають на зміну значень собівартості перевезень (рис. 3). В той же час кількість моделей менше 3 та більше 7 викликають незначне зростання собівартості перевезень. В той же час зменшення середньодобового обсягу перевезень при незмінній середній масі відправлення веде до значного росту собівартості перевезень. Збільшення середньої маси відправлення в 2,3 рази викликає зменшення собівартості перевезення 1,79 рази (рис. 4). При цьому із зменшенням маса відправлення спостерігається збільшення інтенсивності росту собівартості перевезення. Важливим фактором впливу на собівартість перевезень є відповідність вантажопідйомності автомобілів масі відправлення.

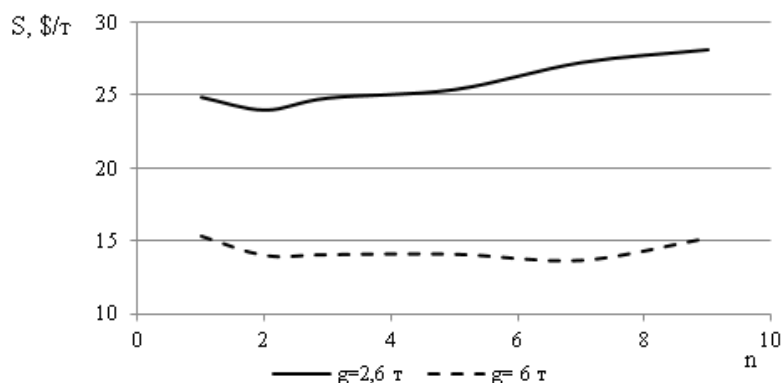


Рис. 4. Залежність собівартості перевезень від кількості моделей автомобілів ( $n$ ) та середнього обсягу відправлення ( $g$ ) при коефіцієнту використання автопарку  $\alpha = 0,75$ .

Аналіз перевезень збірних відправлень свідчить про зміну діапазону маси відправлень та ефективності доставки вантажів у залежності від регіону обслуговування. З огляду на умови перевезень швидкокопсувних дрібних відправлень необхідно виділити три основні групи: міські (місцеві), міжміські та змішані, що передбачають формування маршруту з ділянок міського та міжміського сполучення. При цьому інтенсивність відправлень визначає кількісний склад автопарку.

Одержані результати свідчать, що автопарк, сформований на лінійці із трьох вантажопідйомностей, забезпечує найефективніше перевезення. При цьому мала кількість моделей автомобілів сприятиме підвищенню рівня технічного забезпечення перевезень.



З огляду на те, що збірне відправлення є сумою окремих випадкових відправлень, то згідно центральної граничної теореми для однаково розподілених доданків із збільшенням їх кількості розподіл суми наближається до нормального. У будь-якому випадку щільність розподілу збірного відправлення описується випуклою вверх ділянкою параболи або в граничному стані прямою паралельною осі абсцис (рівномірний розподіл).

При нормальному розподілі маси щільності збірного відправлення на інтервал значень відносно математичного очікування  $g_c$  від  $g_c - \sigma$  до  $g_c + \sigma$  припадає 68,3% всієї площі під кривою. При зменшенні кривизни до прямої частка площі падає до 33,3%. Тоді формальне використання правила  $6\sigma$  дозволяє тривіально визначити вантажопідйомність автомобілів парку за алгоритмом:

1. Визначити математичне очікування середньої маси збірного відправлення  $g_c$  (статистичне, або середнє значення відправлення через зафіксовані його екстремальні значення, або середнє значення вантажопідйомності автомобілів, що використовують для перевезень в районі обслуговування):

$$g_c = \frac{g_{\min} + g_{\max}}{2} \quad (16)$$

де  $g_{\min}$  і  $g_{\max}$  – маса відправлення, відповідно, мінімальна та максимальна.

2. Розрахувати середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma = \frac{g_{\max} - g_{\min}}{6} \quad (17)$$

3. Розрахувати вантажопідйомність автомобілів модельного ряду:

$$q_1 = g_{\max} \quad (18)$$

$$q_2 = g_c + \sigma \quad (19)$$

$$q_3 = g_c - \sigma \quad (20)$$

4. Вибрати серійні автомобілі вантажопідйомністю наближеною до розрахункових значень.

Порівняння результату задачі підрозділу 3.4 і розрахунку за наведеним алгоритмом свідчить, що відхилення вантажопідйомності спостерігаються тільки у 2-ої моделі на 0,4 т.

**Висновки.** Розроблену методика формування структури парку транспортних засобів на основі визначення типорозмірного парку за вантажопідйомністю з використанням критерію собівартість перевезення 1 т вантажу доцільно використовувати, якщо кількість відправлень за добу перевищує у тричі розрахункову кількість модельного ряду автомобілів.

Встановлено, що на величину коефіцієнту статичного використання вантажопідйомності автомобіля впливає кількість інтервалів розбиття ряду вантажопідйомності, їх довжина та рівномірність, а також закон розподілу випадкової величини відправлення.

Визначено, що збільшення кількості моделей автомобілів від 1 до 3 викликає зменшення собівартості перевезення в діапазоні 8% ÷ 11,3% в залежності від ступеню використання автопарку. Подальше розширення модельного ряду до 7 одиниць практично не впливає на собівартість перевезення, а потім спостерігається її зростання із-за збільшення тривалості простоїв в очікуванні належної партії відправлення.

Виявлено, що збільшення середньої маси відправлення в 2,3 рази викликає зменшення собівартості перевезення 1,79 рази, а при цьому зменшенні маса відправлення спостерігається збільшення інтенсивності росту собівартості перевезення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки. К.: Вища школа, 1986. 447 с.
2. Наумов В. С. Формування раціональної структури автопарку в умовах випадкових характеристик потоку замовлень на перевезення вантажів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Харків, 2006. 22 с.
3. Лебідь І. Г. Обґрунтування системи перевезень з використанням терміналів передачі вантажних модулів. – К.: НТУ. – 1998. – 16 с.
4. Ромашко М. В. Совершенствование структуры парка автомобилей. Логистика // Бюллетень транспортной информации и информационно-практический журнал. 2002. №7 (85). С. 22-27.
5. Венцель Е. С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учебное пособие. М.: ЮСТИЦИЯ, 2018. 480 с.
6. Афанасьев В. В. Теория вероятностей. М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2007. 350 с.
7. Теория вероятностей и математическая статистика для технических университетов / Крицкий О. Л., Михальчук А. А., Трифонов А. Ю., Шинкеев М. Л., Шинкеев М. Л. и др.; под ред. Крицкого О. Л. Часть I. Теория вероятностей изд. Томск: Томский политехнический университет, 2014. 213 с.