

УДК 656.1

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.262-273](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.262-273)

**Л.А. Тарандушка**, доц., д-р техн. наук, **Н.Л. Костьян**, доц., канд. техн. наук,  
**І.П. Тарандушка**, ст. викл., **Ф. Яценко**, **М. Буханистий**  
*Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна,*  
*e-mail: tarandushka@ukr.net; 438knl@gmail.com; tarandushka@ukr.net,*  
*f.p.yatsenko.fktdm21@chdtu.edu.ua, m.o.bukhanystyi.fktdm21@chdtu.edu.ua*

## Визначення оптимальної кількості транспортних засобів для функціонування каршерінгу в місті Київ в рамках вдосконалення транспортної системи міста

Досліджується проблема забезпечення якості транспортних послуг, що надаються населенню каршерінговою фірмою. Для формалізованого опису процесу функціонування каршерінгової фірми застосовувалась інформаційна, наукова та експериментальна бази, за допомогою яких стало можливим вирішити транспортні завдання в умовах постійного вдосконалення функціонування транспортної системи міста. Основною метою виконання даного дослідження з використанням математичного апарату – отримання результуючих показників, які дадуть рекомендації для покращення рівня обслуговування каршерінговою фірмою клієнтів з врахуванням можливих впливів певних параметрів системи. Для проведення дослідження застосовувалась математична модель, яка враховує основні показники, що впливають на визначення оптимальної кількості транспортних засобів фірми для забезпечення високого рівня обслуговування клієнтів каршерінгової компанії. В ході роботи було визначено найважливіші показники, що впливають на якість транспортних послуг та запропонована методика визначення оптимальної кількості транспортних засобів для якісного задоволення потреб клієнтів каршерінгової фірми. Отримано статистичні дані щодо потреб в каршерінгу в м. Київ на базі додатку Getmancar. Отримано функцію експоненційного розподілу часу поїздки від їх кількості протягом терміну дослідження, що склав 13 днів. Виконано необхідні розрахунки та отримано рекомендації щодо збільшення парку транспортних засобів каршерінгової фірми Getmancar до 293 шт. Це дасть змогу збільшити щільність транспортних засобів в районі, цим самим забезпечити 100 % ймовірність знаходження вільного транспортного засобу на відстані від 0,6 до 1,2 км. Отримані результати пропонується застосовувати в процесі оптимізації транспортної мережі м. Київ. Запропоновану методику рекомендовано застосовувати під час реорганізації транспортної системи міста, переплануванні міст, прогнозуванні результатів функціонування транспортної системи під час інтенсивного розвитку транспортної мережі.

**якість, транспортні послуги, транспортна система**

**Постановка проблеми.** Під час розвитку та укрупнення міст підвищення якості функціонування транспортної системи є однією з пріоритетних задач, яку необхідно вирішувати. Для формалізованого опису процесу функціонування міського транспортного потоку широко використовують моделювання. Існує величезна інформаційна, наукова, та експериментальна база, за допомогою якої можливо вирішувати транспортні завдання в умовах постійного вдосконалення функціонування транспортних систем міст. Вирішення таких завдань неможливе без використання математичного моделювання процесів, що виникають при взаємодії споживачів з існуючою транспортною мережею міста. Головна мета використання математичного апарату – отримання результуючих показників після моделювання функціонування певного об'єкту з врахуванням можливих впливів певних параметрів системи. До основних математичних моделей, що практично використовуються для проведення

аналізу функціонування транспортних мереж міст та регіонів, можна віднести три основні групи: прогнозні, імітаційні, оптимізаційні. В результаті використання цих моделей можна прогнозувати зміни показників функціонування транспортної мережі міста, з врахуванням змін транспортного попиту або транспортної пропозиції. Такі моделі можна застосовувати під час реорганізації транспортної системи міста, переплануванні міст, прогнозуванні результатів функціонування транспортної системи під час інтенсивного розвитку транспортної мережі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Науковці, що досліджують транспортну мережу міста [1-3] розглядають її, як систему масового обслуговування (СМО), яка призначена для обслуговування певного потоку замовлень, що поступають на вхід системи і можуть бути як регулярними так і випадковими.

В загальному випадку обслуговування замовлень може бути постійним, заздалегідь спланованим та випадковим. В схемі СМО, яку використовує [4] для опису функціонування транспортної мережі міста (рис.1) можна виділити «Потік замовлень на вході системи», «Чергу», «Канали обслуговування», «Потік замовлень, що не було виконано», «Потік замовлень, що було виконано».

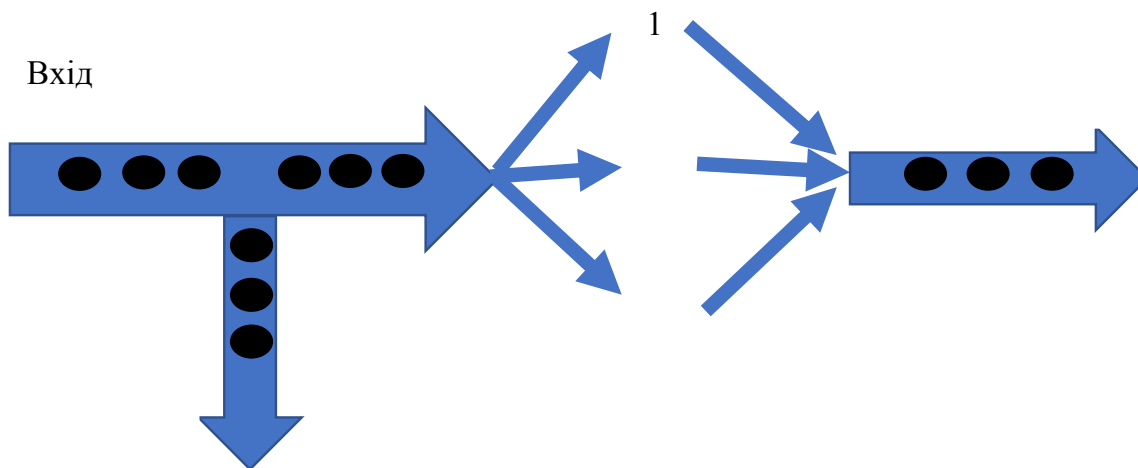


Рисунок 1 – Схема функціонування транспортної мережі міста (СМО)

*Джерело: розроблено авторами*

СМО працює наступним чином. Коли з'являється замовлення, воно виконується необхідним каналом обслуговування та подається на вихід системи. Випадковий характер потоку замовлень може призводити до появи черги, а відповідно і до потоку замовлень, що не було виконано за певних причин, а також до появи недовантаження каналів обслуговування.

Це означає, що транспортна мережа міста, залежно від своїх параметрів: характеру потоку замовлень, кількості каналів обслуговування, їх продуктивності, способу організації роботи має певну ефективність функціонування (рівень пропускної здатності). Тобто, метою системи масового обслуговування є визначення певних рекомендацій, що приведуть до збільшення пропускної здатності мережі міста з мінімальними витратами за допомогою визначення залежності ефективності функціонування транспортної мережі від параметрів системи. Тому стає необхідним провести аналіз випадкових процесів, що відбуваються в СМО «Транспортна мережа міста» за допомогою математичного апарату. Математичний аналіз суттєво спрощується, якщо СМО розглядати за певних умов.

Спочатку необхідно розглянути класифікацію систем масового обслуговування. За кількістю каналів СМО поділяються на одноканальні та багатоканальні. Припустимо, що кожен канал одночасно може обслуговувати тільки одне замовлення та кожне замовлення обслуговується тільки одним каналом. Багатоканальні системи можуть складатись з однорідних каналів або різнорідних, які мають відмінність у часі обслуговування одного замовлення.

За дисципліною обслуговування СМО поділяються на три класи [5]:

1). СМО з відмовами, в яких замовлення, що поступило на вхід системи отримало відмову в зв'язку з зайнятістю всіх каналів обслуговування. Для того, щоб це замовлення було виконане необхідно, щоб воно знову надійшло на вхід системи.

2). СМО з очікуванням. В таких системах, замовлення, що надійшло під час зайнятості всіх каналів обслуговування стає в чергу і коли звільняється канал обслуговування відбувається виконання замовлення.

3). СМО змішаного типу. Це системи в яких на замовлення, що знаходяться в черзі, накладаються певні обмеження.

В СМО з очікуванням та в СМО змішаного типу обслуговування може виконуватись як по черзі так і у випадковому порядку.

Якщо процеси, що відбуваються в транспортній системі міста представити, як марківські випадкові процеси, то математичний аналіз роботи СМО значно спрощується [6]. Це означає, що стан системи, в яких відбуваються марківські випадкові процеси, в майбутньому залежить тільки від стану системи в теперішньому і не залежить від стану системи в минулому. Для марківського випадкового процесу майбутній стан залежить від минулого через теперішній стан (рис.2).

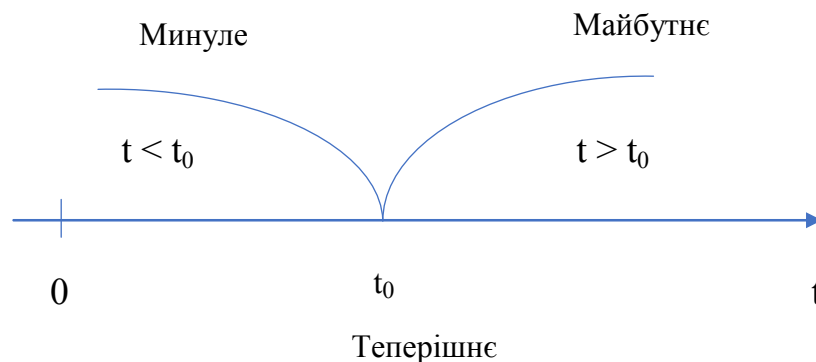


Рисунок 2 – Схематичне зображення марківського процесу

*Джерело: розроблено авторами*

**Постановка завдання.** Метою роботи є визначення важливих параметрів, що впливають на рівень задоволеності клієнтів каршерінгової фірми з метою вдосконалення їх нормування.

**Виклад основного матеріалу.** Статистичний дані щодо потреб в каршерінгу в м. Київ на базі додатку Getmancar було зібрано з 07.11.2021 р. до 19.11.2021р., з 8.00 до 23.00.

Зона використання автомобіля – місто Київ, але починати або завершувати аренду можна тільки центральними районами міста (рис.3).

Існує 3 види тарифів в додатку Getmancar:

- Похвилинний – 7,99 грн./хв., очікування 1,29/хв;
- Погодинний – 79 грн./год.;
- Добовий – 1199 грн./добу.

Таблиця 1 – Вихідні дані міста Київ [8]

№	Район	Населення, осіб	Площа, м <sup>2</sup>	Середня кількість автомобілів, що обслуговують район
1	Печерський	144785	27	4
2	Дніпровський	348804	67	10
3	Оболонський	317419	110	16
4	Деснянський	362127	148	22
5	Дарницький	320234	134	20
6	Голосіївський	239340	156	23
7	Солом'янський	351169	40	6

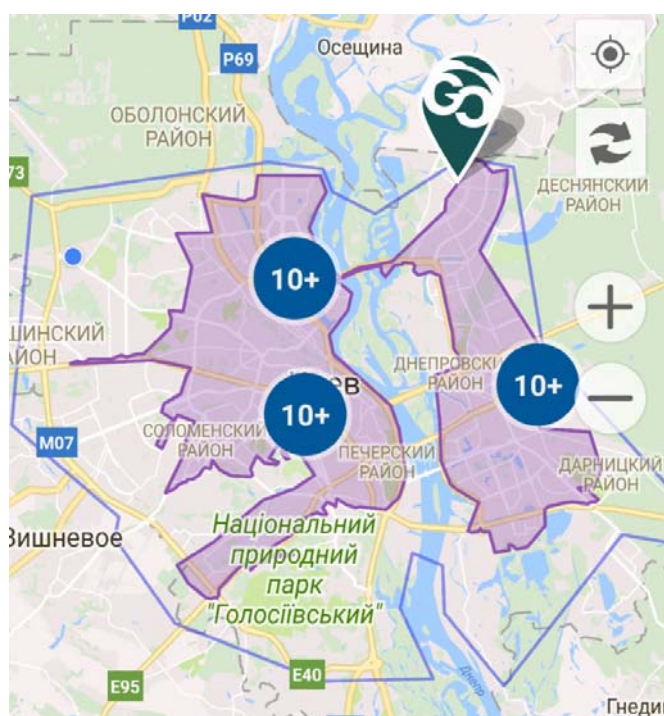


Рисунок 3 – Схема районів початку та завершення аренди авто в м. Київ

Джерело: [8].

Провівши аналіз часу використання автомобіля отримуємо наступну гістограму (рис.4)

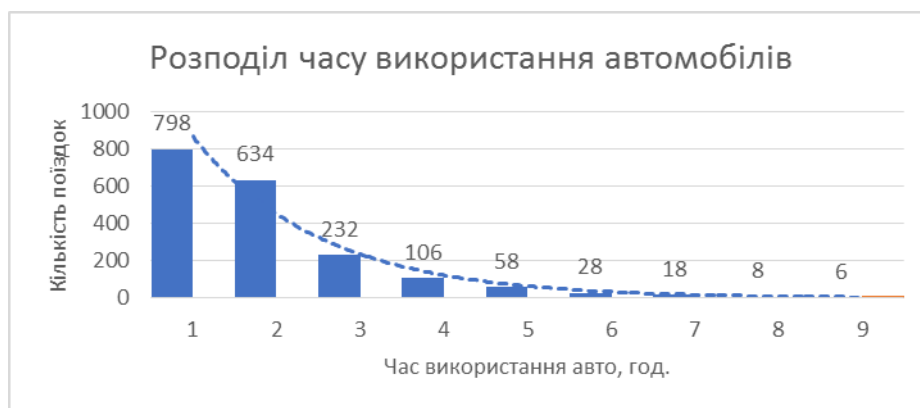


Рисунок 4 – Розподіл часу використання автомобілів Getmancar

Джерело: розроблено авторами

Середня кількість вільних та зайнятих автомобілів в районі представлені в табл. 1

Таблиця 1 - Середня кількість вільних та зайнятих автомобілів в районі

№ району	1	2	3	4	5	6	7
Середнє значення вільних ТЗ	2,5	1,57	1,3	5,21	5,01	4,81	2,68
Середнє значення зайнятих ТЗ	0,53	0,23	0,48	1,40	1,09	1,59	0,86

Джерело: розроблено авторами

Поїздки тривалістю до 1 години є найпопулярнішими. Функція експоненціального розподілу має вигляд:

$$f(x) = \begin{cases} 1 - e^{-0,65x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Метою задоволення попиту на каршерінгові послуги є забезпечення розподілу автомобілів по районах міста в кроковій доступності клієнтів (600 м). Для математичного оцінювання розподілу об'єктів на площині скористаємося методом «Найближчого сусіда». Даний метод описує три типи розподілу об'єктів: рівномірний, випадковий та груповий. Для визначення розподілу транспортних засобів каршерінгової фірми по території міста доцільно використовувати випадковий розподіл.

Відповідно до даного методу середня відстань до найближчого вільного транспортного засобу в районі при випадковому розподілі об'єктів розраховується за формулою [7]:

$$\bar{r} = \frac{1}{N\sqrt{\rho}}, \quad (2)$$

$\rho$  – щільність транспортних засобів каршерінгу в районі;

$N$  – середня кількість вільних транспортних засобів в районі;

Дисперсія випадкового розподілу:

$$\sigma = \frac{0,26136}{\sqrt{N\rho}}. \quad (3)$$

Функція нормального розподілу (ймовірність розташування транспортного засобу в кроковій доступності):

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}. \quad (4)$$

$x$  – максимальна відстань крокової доступності, м;

$\mu$  – мінімальна відстань крокової доступності, м;

На прикладі Деснянського району побудуємо математичну модель для оцінки потреб каршерінгу. Так як кількість транспортних засобів каршерінгу, що обслуговують м. Київ складає 100 шт, то щільність транспортних засобів, що покривають місто складає  $\rho = 0,12$  авт./км<sup>2</sup>.

Таблиця 2 – Характеристики для моделювання по Деснянському району

Населення, тис.ос	362
Щільність ТЗ каршерінгу	362
Відстань, км	0,6
Площа, км <sup>2</sup>	148

Джерело: розроблено авторами

Тоді середня відстань між найближчими вільними транспортними засобами, дисперсія та ймовірність розташування транспортного засобу, що знаходиться в кроковій доступності 0,6 км розраховується:

$$\bar{r} = \frac{1}{1\sqrt{0,12}} = 3, \text{ км.} \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{0,26136}{\sqrt{1 \cdot 0,12}} = 0,74 \quad F(x) = \int_0^x \cdot 6 \frac{1}{0,74\sqrt{2 \cdot 3,14}} \cdot 2,72 \frac{-(0,6-0)^2}{2} = 0,23.$$

Таблиця 3 – Результати розрахунку

Середня кількість вільних автомобілів	$\bar{r}$	$\sigma$
1	3	0,74
2	1,5	0,53
3	0,96	0,44
4	0,72	0,38
5	0,58	0,34

Джерело: розроблено авторами

Середня кількість вільних ТЗ в Деснянському районі складає 5 авт. Тому отримуємо графічну залежність ймовірності знаходження вільного ТЗ в Деснянському районі, за умови, якщо вільних автомобілів – 5, а клієнт погоджується пройти до автомобіля від 0,1 км до 0,6 км.

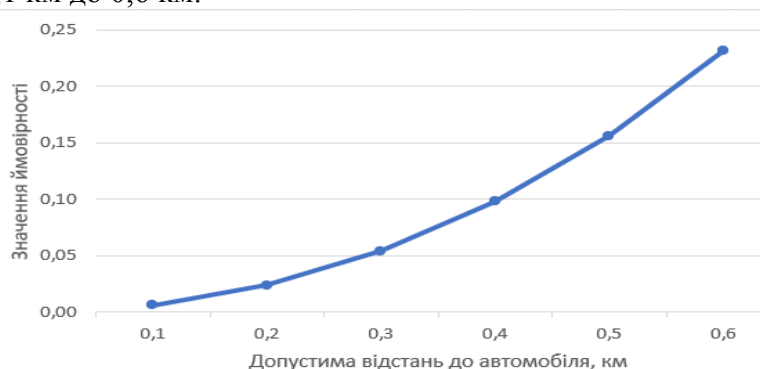


Рисунок 5 – Графічна залежність ймовірності існування вільного ТЗ в Деснянському районі на відстані від 0,1 до 0,6 км

Джерело: розроблено авторами

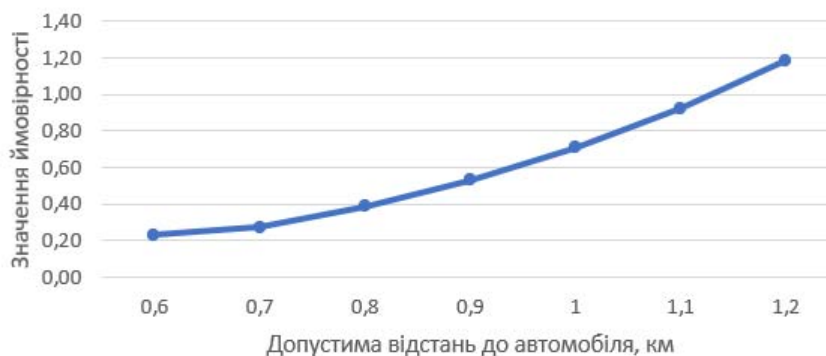


Рисунок 6 – Графічна залежність ймовірності існування вільного ТЗ в Деснянському районі на відстані від 0,6 до 1,2 км

Джерело: розроблено авторами

Проведемо аналогічні розрахунки для 1, 2, 3, 4 вільних автомобілів в районі відповідно та результати занесемо в табл.4

Таблиця 4 – Результати розрахунку ймовірності існування вільного автомобіля від середньої кількості вільних автомобілів в районі та допустимої відстані до автомобіля

Середня кількість вільних автомобілів в районі	Допустима відстань до автомобіля	Значення ймовірності $F(x)$
1	0,1	0,027
	0,2	0,01
	0,3	0,02
	0,4	0,04
	0,5	0,07
	0,6	0,11
	0,7	0,12
	0,8	0,18
	0,9	0,24
	1,0	0,33
	1,1	0,42
	1,2	0,54
2	0,1	0,0038
	0,2	0,02
	0,3	0,03
	0,4	0,06
	0,5	0,10
	0,6	0,15
	0,7	0,17
	0,8	0,25
	0,9	0,34
	1,0	0,45
	1,1	0,59
	1,2	0,76

Продовження таблиці 4

3	0,1	0,0045
	0,2	0,02
	0,3	0,04
	0,4	0,08
	0,5	0,12
	0,6	0,18
	0,7	0,21
	0,8	0,30
	0,9	0,41
	1,0	0,55
	1,1	0,71
	1,2	0,91
4	0,1	0,01
	0,2	0,02
	0,3	0,05
	0,4	0,09
	0,5	0,14
	0,6	0,21
	0,7	0,24
	0,8	0,35
	0,9	0,48
	1,0	0,63
	1,1	0,82
	1,2	1,06
5	0,1	0,01
	0,2	0,02
	0,3	0,05
	0,4	0,10
	0,5	0,16
	0,6	0,23
	0,7	0,27
	0,8	0,39
	0,9	0,53
	1,0	0,71
	1,1	0,92
	1,2	1,18

*Джерело: розроблено авторами*

Якщо в районі вільний 1 автомобіль, то ймовірність знаходження вільного автомобіля в залежності від відстані, яку погоджується пройти клієнт зображено на рис.7-8.



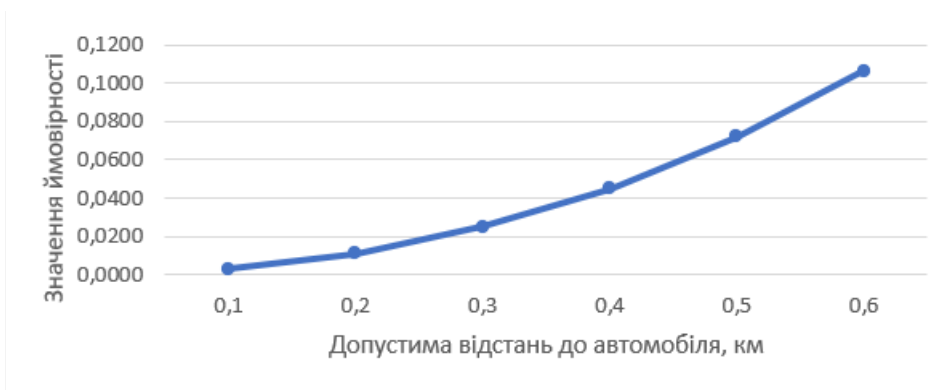


Рисунок 7 – Графічна залежність ймовірності існування вільного ТЗ в районі, де є 1 вільний ТЗ на відстані від 0,1 до 0,6 км

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 8 – Графічна залежність ймовірності існування вільного в районі, де є 1 вільний ТЗ на відстані від 0,6 до 1,2 км

Джерело: розроблено авторами

Якщо в районі вільних 2 автомобілі, то ймовірність знаходження вільного автомобіля в залежності від відстані, яку погоджується пройти клієнт зображено на рис.9-10.

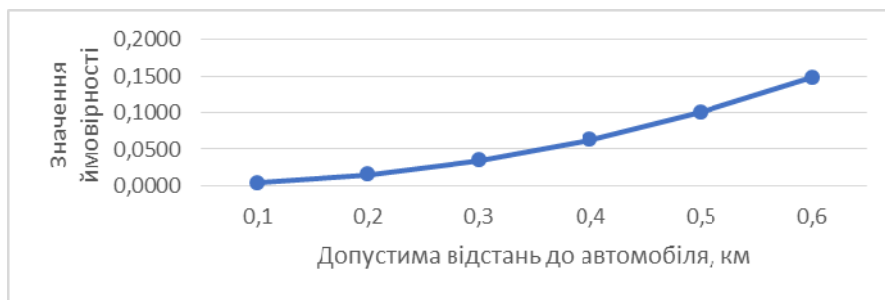


Рисунок 9 – Графічна залежність ймовірності існування вільного ТЗ в районі, де є 2 вільних ТЗ на відстані від 0,1 до 0,6 км

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 10 – Графічна залежність ймовірності існування вільного в районі, де є 2 вільних ТЗ на відстані від 0,6 до 1,2 км

Джерело: розроблено авторами

Якщо в районі є 3 вільних автомобілі, то ймовірність знаходження вільного автомобіля в залежності від відстані, яку погоджується пройти клієнт зображено на рис.11-12.



Рисунок 11 – Графічна залежність ймовірності існування вільного ТЗ в районі, де є 3 вільних ТЗ на відстані від 0,1 до 0,6 км

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 12 – Графічна залежність ймовірності існування вільного в районі, де є 3 вільних ТЗ на відстані від 0,6 до 1,2 км

Джерело: розроблено авторами

Якщо в районі є 4 вільних автомобілі, то ймовірність знаходження вільного автомобіля в залежності від відстані, яку погоджується пройти клієнт зображено на рис.13-14.



Рисунок 13 – Графічна залежність ймовірності існування вільного ТЗ в районі, де є 4 вільних ТЗ на відстані від 0,1 до 0,6 км

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 14 – Графічна залежність ймовірності існування вільного ТЗ в районі, де є 4 вільних ТЗ на відстані від 0,6 до 1,2 км

Джерело: розроблено авторами

Після виконання аналізу розроблених графіків залежності ймовірності існування вільного ТЗ в районі на відстані від 0,6 до 1,2 км зрозуміло, що для оптимального забезпечення потреб в автомобілях з каршерінгу на відстані 1,2 км необхідно забезпечити 100% ймовірність знаходження вільного ТЗ за умови існування 1 вільного ТЗ в районі. Для цього необхідно збільшити кількість автомобілів, тобто підвищити щільність їх розташування.

Виконавши необхідні розрахунки, було визначено, що при збільшенні кількості ТЗ служби каршерінгу до 293 шт, щільність розташування ТЗ по місту Київ підвищується до  $\rho = 0,43$ , тоді графік залежності ймовірності існування вільного ТЗ в районі, де є 1 вільний ТЗ на відстані від 0,6 до 1,2 км має вигляд (рис. 15):



Рисунок 15 – Графічна залежність ймовірності існування вільного ТЗ в районі, де є 1 вільний ТЗ на відстані від 0,6 до 1,2 км

Джерело: розроблено авторами

Даний графік підтверджує 100% ймовірність існування вільного ТЗ на відстані 1,2 км в районі, де на даний момент існує всього 1 вільний ТЗ.

**Висновки.** Для оптимізації роботи каршерінгової фірми Getmancar в місті Київ було проведено дослідження щодо задоволеності потреб їх клієнтів. Було визначено, що основними параметрами, що впливають на якість обслуговування клієнтів є кількість вільних транспортних засобів в кроковій доступності клієнтів у відповідному районі міста. В результаті виконання розрахунків було визначено, що при збільшенні кількості ТЗ служби каршерінгу до 293 шт, щільність розташування ТЗ по місту Київ підвищується до  $\rho = 0,43$ . Це забезпечує 100% ймовірність знаходження вільного ТЗ (за умови існування 1 вільного ТЗ в районі) на відстані від 0,6 до 1,2 км.

## Список літератури

1. Організація та логістика перевезень: підручник / М.С. Ізтелеуова, І.В. Грицук, П.М. Арімбекова, Л.А. Тарандушка . Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021 . 264 с.
2. Давідіч Ю. О. Фалецька Г. І. Конспект лекцій з дисципліни «Моделювання транспортних систем» (для магістрів усіх форм навчання спеціальності 275 – Транспортні технології) / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 71 с.
3. Богачук І.М. Організація пасажирських автомобільних перевезень: практикум . Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ, 2017. 40 с.
4. Козаченко Д.М., Вернигора Р.В., Малашкін В.В.. Основи дослідження операцій у транспортних системах: приклади та задачі: навчальний посібник для ВНЗ . К.: ПрофКнига, 2019. 277с.
5. Руденко В.М. Математична статистика: навч. посіб. К.: Центр учбової літератури, 2021. 304 с.
6. Parasuraman A. A., Valarie A. Zeithaml, Leonard L. Berry. Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research . *Journal of Marketing*. 1985. Vol. 49 (4). P. 41–50. 75.
7. Снитюк В.Є. Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми: навчальний посібник . К.: "Маклаут", 2008. 364 с.
8. Каршерінг Getman: сайт. URL: <https://getmancar.com.ua> (дата звернення: 07.11.21).

## References

1. Izteleuova, M.S., Hrytsuk, I.V., Arimbekova, P.M. & Tarandushka, L.A. (2021). *Orhanizatsiia ta lohistyka perevezen [Organization and logistics of transportation]*. Kherson : OLDI-PLluS [in Ukrainian].
2. Davidich, Yu.O. (2019) *Konspekt lektsii z dystsypliny «Modeliuvannia transportnykh system» [Synopsis of lectures on the discipline "Modeling of transport systems"]*. Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova [in Ukrainian].
3. Bohatchuk, I.M. (2017). *Orhanizatsiia pasazhyrskykh avtomobilnykh perevezen [Organization of passenger automobile transportation]*. Ivano-Frankivsk: Vydavnytstvo IFNTUNH [in Ukrainian].
4. Kozachenko, D.M. (2019). *Osnovy doslidzhennia operatsii u transportnykh systemakh : pryklady ta zadachi [Basics of operations research in transport systems: examples and problems]*. Kyiv: ProfKnyha [in Ukrainian].
5. Rudenko, V.M. (2021). *Matematychna statystyka [Mathematical statistics]*. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury [in Ukrainian].
6. Parasuraman, A. A (1985). Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research. *Journal of Marketing, Vol. 49 (4)*, P. 41–50 [ in English].
7. Snytiuk, V.Ie. (2008). *Prohnozuvannia. Modeli. Metody. Alhorytmy [Prognostication. Models. Methods. Algorithms]*. Kyiv: "Maklout" [in Ukrainian].
8. Karsherinh Getman: sait [Carsharing Getman: site]. *getmancar.com.ua*. Retrieved from <https://getmancar.com.ua>.

**Lyudmyla Tarandushka**, Assoc. Prof., DSc., **Nataliia Kostian**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ivan Tarandushka**, Senior Lecturer, **F. Yatsenko**, **M. Bukhanystyi**  
*Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine*

### **Determination of Optimal Number Vehicles for the Functioning of Carshing in Kyiv Within the Framework of Improving the Transport System**

The problem of ensuring the quality of transport services provided to the population by a car-sharing firm is studied. For a formalized description of functioning process car-sharing company, information, scientific and experimental bases were used, with the help of which it became possible to solve transport problems in the conditions of constant improvement of the city's transport system. The main purpose of this study using a mathematical apparatus is to obtain the resulting indicators, which will provide recommendations for improving the level of customer service by car-sharing companies, taking into account the possible effects of certain system parameters.

A mathematical model was used to conduct the study, which takes into account the main indicators that affect the determination of the optimal number of vehicles of the company to ensure a high level of customer service of the car-sharing company. In the course of the work, the most important indicators influencing the quality of transport services were identified and a method for determining the optimal number of vehicles to qualitatively meet the needs of customers of a car-sharing company was proposed. Statistical data on car-sharing needs in Kyiv were obtained on the basis of the Getmancar application. The function of exponential distribution of travel time from their number during the study period of 13 days was obtained. Necessary calculations were performed and recommendations were received to increase the fleet of car-sharing vehicles from Getmancar to 293 units. This will increase the density of vehicles in the area, thus ensuring a 100% probability of finding a free vehicle at a distance of 0.6 to 1.2 km.

It is proposed to apply the obtained results in the process of optimization of the transport network of Kyiv. The proposed method is recommended to be used during the reorganization of the city transport system, urban redevelopment, forecasting the results of the transport system during the intensive development of the transport network.

**quality, quality indicators, transport services, transport network**

*Одержано (Received) 24.11.2021*

*Прорецензовано (Reviewed) 06.12.2021*

*Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022*