

УДК 625.7:8

Каськів В. І.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

Шапенко Є. М.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0003-0937-9400>

Гульчак О. Д.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0001-8186-4529>

Вознюк А. Б.<sup>3</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-7611-9652>

<sup>1</sup> Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

<sup>2</sup> Національний транспортний інститут, м. Київ, Україна

<sup>3</sup> Державне агентство автомобільних доріг України, м. Київ, Україна

## ОБҐРУНТУВАННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА БЕЗПЕКУ РУХУ

### *Анотація*

**Вступ.** Основним показником, який характеризує вплив дорожніх умов, навколишнього середовища, технічного стану автомобіля та психофізіологічних факторів на водія, визначено швидкість руху як окремих транспортних засобів, так і транспортного потоку за певний період часу та на певній ділянці автомобільної дороги.

Для оцінювання впливу кожного з факторів на швидкість руху, проводились натурні спостереження на автомобільній дорозі М-06 Київ – Чоп. Було проведено кластерний аналіз даних натурних спостережень з використанням програмного комплексу Statistica 12, встановлено зв'язки в середині сукупності даних та організовано отримані дані в певні структури. У результаті проведеної кластеризації було встановлено групи кластерів, які мають найбільший вплив на швидкість руху. Визначення ієрархії факторів впливу на швидкість руху та безпеку транспортного процесу дасть змогу в подальшому удосконалити підходи до моделювання залежностей швидкості руху від дорожніх умов.

Стаття присвячена аналізу факторів, що мають безпосередній вплив на безпеку руху.

**Проблематика.** Потреба в модернізації підходів до прогнозування інтенсивності руху, розподілу інтенсивності руху на мережі автомобільних доріг, засобів та методів організації дорожнього руху, систем керування дорожнім рухом у зв'язку з кількісними та якісними змінами транспортної галузі України.

**Мета.** Ранжування факторів впливу на безпеку дорожнього руху.

**Матеріали та метод.** Математичне моделювання та кластерний аналіз з використанням даних натурних досліджень.

**Результати.** За допомогою математичного моделювання, стало можливим удосконалити залежності швидкості руху від дорожніх умов.

**Висновки.** Визначено ієрархію факторів впливу на швидкість руху та безпеку транспортного процесу.

**Ключові слова:** аналіз, безпека, дорога, кластер, метод, модель, швидкість.

### **Вступ**

Проблематикою безпеки дорожнього руху, впливом людського фактору на безпеку дорожнього руху, психофізіологією водіїв, закономірностями їх роботи в ергатичній системі «водій-автомобіль-дорога» займались такі відомі науковці, як Гаврилов Е. В., Гюлев Н. У., Лобанов Е. М., Поліщук В. П., та ін. [1–4].

Чинні фундаментальні підходи щодо оцінки факторів, які впливають на безпеку руху, було наведено наукових працях Сильянова В. В., Вайсмана А. І., Рогенберга Р. В. та Мішуріна В. М. [5, 6].

Враховуючи кількісні та якісні зміни, які відбулись з транспортною галуззю України [7, 8], все більш нагальною є потреба у здійсненні досліджень, які дозволять, щонайменше, дізнатись фактичні параметри сучасних транспортних потоків та їх вплив на мережу автомобільних доріг.

Націленість на безпечну дорожню інфраструктуру є наріжним каменем системного підходу, який широко застосовується в ЄС [9] і полягає в тому, що будь хто з учасників руху, навіть найкращий та найдосвідченіший, може робити помилки. Але якщо уникнути дорожньо-транспортної пригоди неможливо, то, на дорозі повинні бути забезпечені такі умови, що дозволяють звести до мінімуму тяжкість наслідків.

Модернізація підходів до прогнозування інтенсивності руху, розподілу інтенсивності руху на мережі автомобільних доріг, засобів та методів організації дорожнього руху, систем керування дорожнім рухом тощо здійснюється завдяки взаємодії транспортних інженерів з науковцями: математиками, фізиками, психологами.

Транспортне дослідження – це сукупність видів діяльності, за допомогою яких можна отримати інформацію про дорожній або інший вид транспорту його мета полягає в отриманні вихідних даних для планування, проектування і модернізації дорожніх мереж і споруд, а також для проекту поліпшення експлуатації режимів на існуючих мережах або дорожніх спорудах з урахуванням безпеки, безперервності, зручності, економічності руху та його наслідків для довкілля [10].

На думку вчених [10, 11], кожне транспортне дослідження повинно відповідати наступним вимогам:

- дослідження має бути великим, щоб визначити відповідні характеристики з достатньою точністю, а також надавати необхідні дані в повному обсязі;
- дослідження має бути опрацьоване відповідно до принципів математичної статистики.

Результати досліджень мають надати не лише абсолютні значення характеристик, але й значення описової статистики, а також похідні залежності між досліджуваними елементами.

### Основна частина

Відомо, що рух транспортних засобів, їх взаємодія між собою та навколишнім середовищем у просторі і в часі створює на дорогах складну систему взаємодії (**рис. 1**).

Дослідження базувалось на гіпотезі, що рішення про вибір безпечної швидкості руху приймає водій, а власне безпечна швидкість руху може бути визначена як мінімальна зі швидкостей, що зумовлюється факторами, наведеними на **рис. 1**.

Масив початкових даних був сформований за результатами натурних спостережень, проведених на автомобільній дорозі М-06 Київ – Чоп (на м. Будапешт через міста Львів, Мукачево та Ужгород). Вибір цієї дороги пояснюється її значною довжиною (понад 900 км разом з підходами, обходами та транспортними розв'язками), важливістю як транспортного коридору (національного та міжнародного значення). Ця дорога проходить через три з чотирьох дорожньо-кліматичних зон України (північну, центральну та гірську). Крім того, за сукупністю характеристик дорога М-06 Київ – Чоп відноситься до позаміських доріг згідно з європейською класифікацією (rural roads, non motorway) [12], ДТП на яких в ЄС мають найтяжчі наслідки (54 % від всіх загиблих). Станом на 01.01.2019 на цій дорозі обліковувалось майже 20 місць концентрації ДТП [13].



**Рисунок 1** — Взаємодія в системі «Водій – Автомобіль – Дорога – Середовище – Інформація»

Загальна довжина досліджуваної дороги М-06 становить 831 км. Згідно сегментативної вибірки, дорогу було поділено на ділянки довжиною 1 000 м. Згідно з рекомендаціями [14], вибіркова сукупність, необхідна для подальшого опрацювання кластерним аналізом, розраховується за формулою:

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2 \cdot N}{\Delta^2 \cdot N + t^2 \cdot \sigma^2}, \quad (1)$$

де  $t$  — показник достовірності;  
 $\sigma^2$  — міжгрупова дисперсія;  
 $N$  — обсяг генеральної сукупності;  
 $\Delta$  — помилка вибірки.

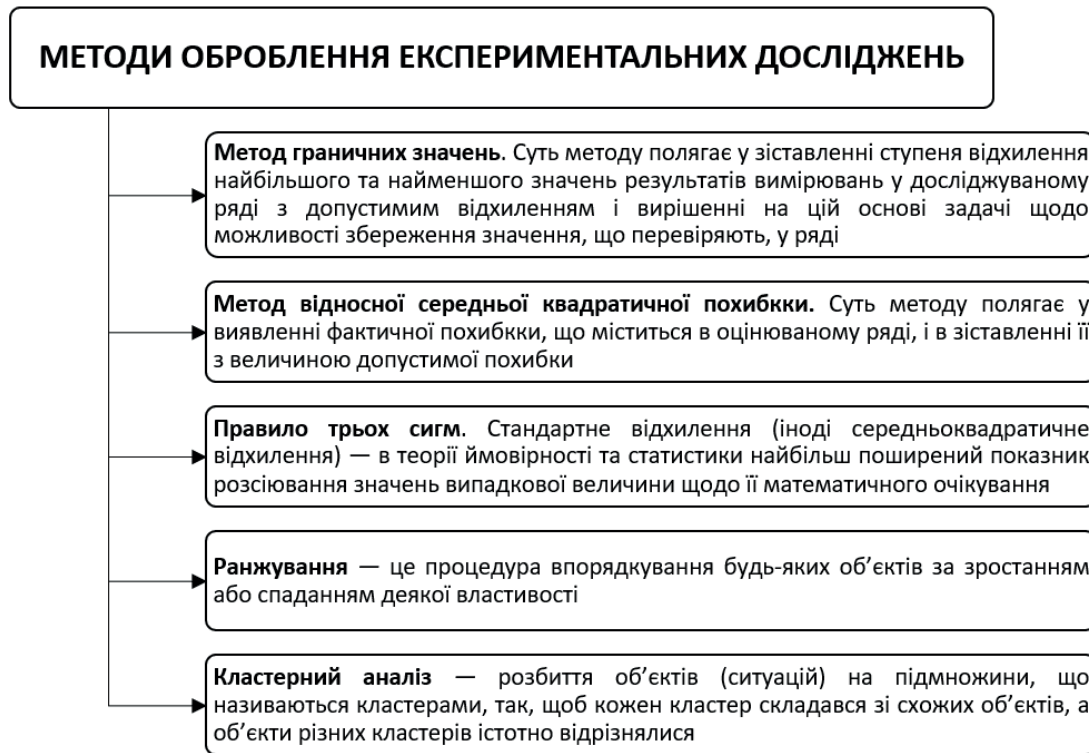
Розрахований необхідний загальний розмір вибірки становить 263 ділянки дороги М-06. Оброблення результатів експериментальних досліджень можливе за такими методами (рис. 2) [14].

Дослідники досить часто зустрічаються з проблемою оброблення та аналізу великих масивів даних, що були отримані під час спостережень, а також розбиття множини досліджуваних об'єктів і ознак на однорідні в деякому сенсі групи, або кластери.

Кластерний аналіз — це багатовимірний статистичний метод, тому передбачається, що вихідні дані можуть бути значного обсягу, тобто істотно великою може бути як кількість об'єктів дослідження (спостережень), так і ознак, що характеризують ці об'єкти [15, 16, 17].

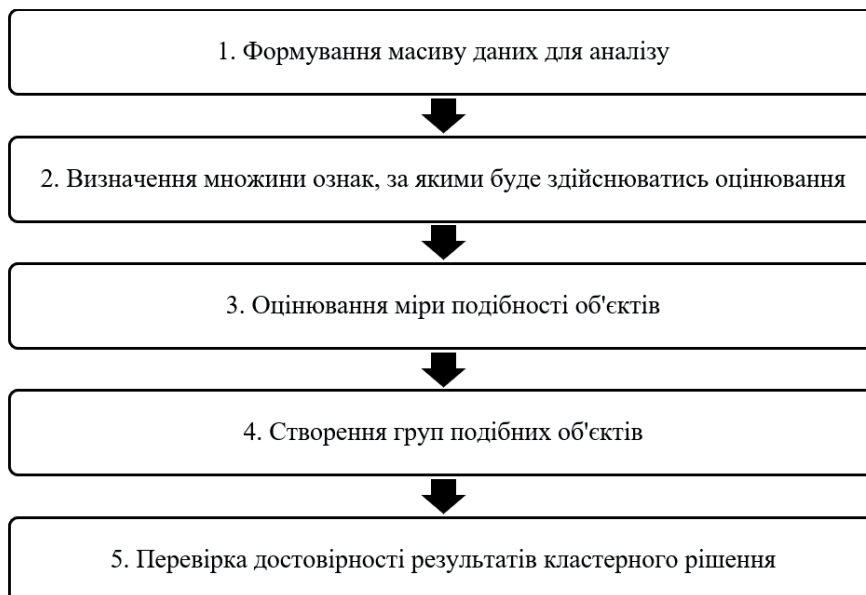
До головної переваги кластерного аналізу можна віднести можливість розбивати об'єкти не за однією ознакою, а за рядом ознак. Також методи кластерного аналізу дозволяють побудувати

нові ієрархії для недостатньо вивчених явищ, встановити зв'язки в середині сукупності та привести дані до певної структури.



*Рисунок 2* — Методи оброблення експериментальних досліджень

Кластерний аналіз потребує здійснення ряду послідовних кроків (рис. 3):



*Рисунок 3* — Алгоритм проведення кластерного аналізу

## ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

За результатами натурного обстеження автомобільної дороги М-06 (табл. 1), всю дорогу було розбито на ділянки з вказуванням їх особливостей.

*Таблиця 1*

*Фрагмент таблиці результатів обстеження автомобільної дороги М-06*

Параметр / фактор впливу	Порядковий номер ділянки							
	1	2	3	4	5	6	7	8
індекс дороги	М-06	М-06	М-06	М-06	М-06	М-06	М-06	М-06
км+ початку	14+080	15+080	17+000	23+000	42+000	44+000	49+000	55+150
км+ кінця	15+080	16+080	18+000	24+000	43+000	45+000	50+000	56+150
довжина, м	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
категорія	16	16	16	16	16	16	16	16
кількість смуг руху прямо, шт	2	2	2	2	2	2	2	2
кількість смуг руху назад, шт	2	2	2	2	2	2	2	2
перехідно-швидкісні смуги	так	так	так	так	ні	ні	так	так
радіус горизонтальної кривої, м	0	0	0	0	0	0	5100	3000
поздовжній похил, проміле	16,67	-9,35	0,17	27,42	7	1,25	-4,71	-10,88
рівність, см/км	29	26	24	23	23	21	20	25
габарит моста, м	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні
населений пункт	так	так	ні	ні	ні	ні	ні	ні
соціальна активність	так	так	ні	ні	ні	так	так	так
авто-заправна станція	так	так	ні	ні	ні	ні	ні	ні
примикання або перехрестя	так	так	так	так	ні	ні	ні	ні
майданчик відпочинку	так	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні
інтенсивність, авто/доба	49955	49955	49955	38057	22179	22179	22179	19038
частка легкових автомобілів, %	75,29	75,29	75,29	72,48	68,17	68,17	68,17	67,10
частка вантажних автомобілів, %	12,10	12,10	12,10	13,80	14,65	14,65	14,65	12,50
частка автопоїздів, %	9,65	9,65	9,65	11,62	15,01	15,01	15,01	17,93
частка автобусів, %	2,96	2,96	2,96	2,10	2,17	2,17	2,17	2,47
швидкість вільного потоку, км/год	88	77	89	95	112	110	109	112
85% забезпечення швидкості, км/год	108	108	112	116	130	128	128	132
обмеження швидкості, км/год	50	50	110	110	110	110	110	110

Основні фактори, прийнятні для подальшої обробки кластерним аналізом, наведені в табл. 2.

*Таблиця 2*

**Перелік факторів, відібраних для проведення кластерного аналізу**

Код фактора	Основні фактори, що впливають на безпеку руху
Var1	радіус горизонтальної кривої
Var2	поздовжній похил
Var3	рівність дороги
Var4	інтенсивність руху
Var5	кількість легкових автомобілів
Var6	кількість вантажних автомобілів
Var7	кількість автопоїздів
Var8	кількість автобусів

За допомогою кластерного аналізу була отримана матриця відстаней, для виділення геометрично віддалених груп. Провівши послідовні обчислення відстаней між усіма об'єктами будемо матрицю відстаней (табл. 3).

Найпоширенішою мірою для визначення відстані між двома точками на площині, утвореної координатними осями  $x$  і  $y$ , є Евклідова відстань. Це геометрична відстань в багатовимірному просторі:

$$f(X_i, X_j) = \sqrt{\sum_{l=1}^k (x_{il} - x_{jl})^2}, \quad (2)$$

де  $X_i, X_j$  — координати  $i$ -го і  $j$ -го об'єктів в  $k$ -мірному просторі;

$x_{il} - x_{jl}$  — величина  $l$ -ої компоненти у  $i$ -му ( $j$ -му) об'єкті ( $l = 1, 2, \dots, k; i, j = 1, 2, \dots, n$ ).

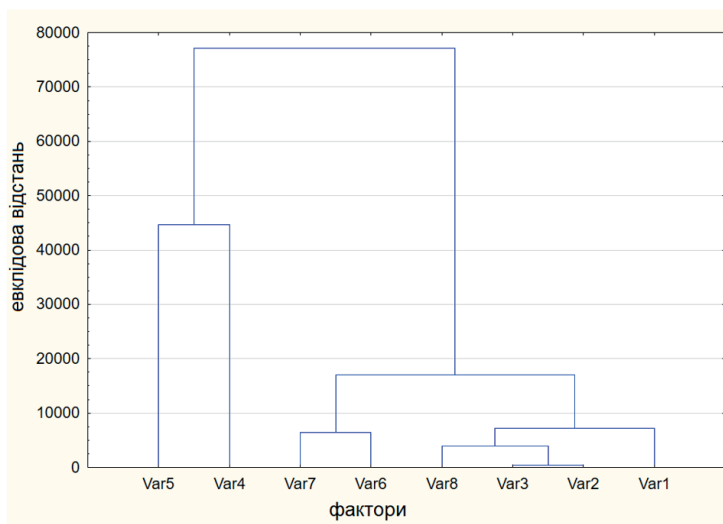
*Таблиця 3*

**Матриця відстаней для виділення геометрично віддалених груп**

	Нормалізована відстань між центрами кластерів							
	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	Кластер 4	Кластер 5	Кластер 6	Кластер 7	Кластер 8
Кластер 1	0,000000	0,175761	0,114027	1,052063	2,015862	1,333521	1,59839	1,858269
Кластер 2	0,175761	0,000000	0,064893	1,117472	2,022809	1,333558	1,583083	1,853210
Кластер 3	0,114027	0,064893	0,000000	1,090518	2,020831	1,330729	1,583869	1,853244
Кластер 4	1,052063	1,117472	1,090518	0,000000	1,255874	0,658473	1,056637	1,080581
Кластер 5	2,015862	2,022809	2,020831	1,255874	0,000000	0,789785	1,110965	0,435000
Кластер 6	1,333521	1,333558	1,330729	0,658473	0,789785	0,000000	0,731578	0,532390
Кластер 7	1,591839	1,583083	1,583869	1,056637	1,110965	0,731578	0,000000	0,854451
Кластер 8	1,858269	1,853210	1,853244	1,080581	0,435000	0,532390	0,85	0,000000

Ієрархічні алгоритми кластерного аналізу пов'язані з побудовою дендрограм, які є результатом ієрархічного кластерного аналізу. Дендрограма описує близькість окремих точок і кластерів один до одного, представляє в графічному вигляді послідовність об'єднання кластерів.

Дендрограма представляє групування об'єктів, які змінюється на різних рівнях ієрархії. В результаті всі об'єкти можна звести до одного кластера. Послідовність об'єднання кластерів може бути представлена в дендрограмі (рис. 4).



*Рисунок 4* — Дендрограма об'єднання кластерів методом «одиночного зв'язку»

На дендрограмі ієрархічної кластеризації видно, що вся сукупність досліджуваних факторів розбита на три головні кластери, що мають найменшу відстань всередині та мають найбільший вплив на безпечну швидкість руху. Ієрархія кластерів наступна:

1. Перший кластер — поєднання пункту 2 «усереднений поздовжній похил» та пункту 3 «рівність дороги».
2. Другий кластер — пункти 7 і 6 — «кількість автопоїздів» та «кількість вантажних автомобілів».
3. Третій кластер — пункти 5 і 4 — «кількість легкових автомобілів» «інтенсивність руху» відповідно.

Найбільш віддалені кластери — пункти 8 та 1 — «кількість автобусів» та «найменший радіус горизонтальної кривої», згідно з кластерним аналізом, мають найменший вплив на безпечну швидкість руху

У результаті проведеної обробки отриманих даних методом кластерного аналізу було встановлено ієрархію кластерів, що мають найбільший вплив на безпечну швидкість руху.

### Висновки

У результаті проведеного дослідження дороги М-06 та оброблення даних натурних спостережень кластерним аналізом було отримано розбиття всієї сукупності досліджуваних факторів на три головні кластери, що мають найбільший вплив на безпечну швидкість руху. Визначено ієрархію факторів впливу на швидкість руху та безпеку транспортного процесу.

Отримані результати дали змогу, за допомогою математичного моделювання, встановити залежності швидкості руху від дорожніх умов.

## Список літератури

1. Гаврилов Э.В. Эргономика на автомобильном транспорте. Київ, 1976. 152 с.
2. Гюлев Н.У. Особливості ергономіки та психофізіології в діяльності водія. Харків, 2012. 185 с.
3. Лобанов Е.М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя. Москва, 1980. 311 с.
4. Поліщук В.П., Дзюба О.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху. Київ, 2008. 175 с.
5. Вайсман А.И. Гигиена труда водителей. Москва, 1988. 192 с.
6. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. Москва, 1977. 303 с.
7. Вознюк А.Б. Мережа доріг України та сучасні транспортні потоки. *Дороги і мости*. Київ, 2014. Випуск 14. С. 142.
8. Редзюк А. М. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку : монографія. Київ, 2005. 400 с.
9. Директива 2008/96/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 19.11.2008 «Про керування безпекою дорожньої інфраструктури» (Інформація та документація).
10. Поліщук В. П., Бакуліч О. О., Дзюба О. П. та ін. Організація та регулювання дорожнього руху. Київ, 2014. 467 с.
11. Коваленко Л. О. Дослідження та аналіз характеристик транспортних потоків на вулицях міста. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2010. Вип. 50. С. 80–83.
12. Annual safety report 2018. URL: [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf) (дата звернення: 01.12.2020).
13. Моніторинг дорожньо-транспортних пригод на автомобільних дорогах загального користування державного значення України за 2018 рік : звіт. ДП «ДерждорНД». Київ, 2019. 73 с.
14. Дмитриченко М.Ф., Лановий О.Т., Поліщук В.П. Системологія на транспорті. Технологія наукових досліджень і технічної творчості (Книга 2). Київ, 2007. 318 с.
15. Дюран Б., Одел П. Кластерный анализ. Москва, 1977. 128 с.
16. Жамбю М. Иерархический кластер-анализ и соответствия. Москва, 1988. 342 с.
17. Гольдберг А.М., Козлов В.С. Общая теория статистики. Москва, 1985. 367 с.

## References

1. Gavrylov E.V. Ergonomika na avtomobylnom transporte [Ergonomics in road transport]. Kyiv, 1976. 152 p. [in Russian].
2. Hyulyev N.U. Osoblyvosti erhonomiky ta psykhoфизиолоhiyi v diyal'nosti vodiya [Features of ergonomics and psychophysiology in the driver's activity]. Kharkiv, 2012. 185 p. [in Ukrainian].
3. Lobanov E.M. Proektyrovanie dorog i organizatsiya dvizheniya s uchetom psikhofiziologii voditelya [Designing roads and traffic management taking into account the psychophysiology of the driver]. Moscow, 1980. 311 p. [in Russian].
4. Polishchuk V.P., Dzyuba O.P. Teoriya transportnoho potoku: metody ta modeli orhanizatsiyi dorozhn'oho rukhu [Traffic flow theory: methods and models of traffic organization]. Kyiv, 2008. 175 p. [in Ukrainian].
5. Vaysman A.Y. Gigiena truda vodyteley [Occupational hygiene of drivers]. Moscow, 1988. 192 p. [in Russian].
6. Silyanov V.V. Teoriya transportnykh potokov v proektirovanii dorog i orhanizatsii dvizheniya [Theory of traffic flows in road design and traffic management]. Moscow, 1977. 303 p. [in Russian].
7. Vozniuk A.B. Merezha dorih Ukrayiny ta suchasni transportni potoky [Ukrainian road network and modern traffic flows]. *Dorohy i mosty (Roads and Bridges)*. Kyiv, 2014. Issue 14. P. 111–124. [in Ukrainian].
8. Redzyuk A.M. Avtomobilnyi transport Ukrayiny: stan, problemy, perspektyvy rozvytku [Road transport of Ukraine: state, problems, prospects of development]: monograph. Kyiv, 2005. 400 p. [in Ukrainian].
9. Directive 2008/96/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on road infrastructure safety management (Information and documentation) [in English].
10. Polishchuk V. P., Bakulich O. O., Dzyuba O. P. ta in. Orhanizatsiya ta rehulyuvannya dorozhn'oho rukhu [Organization and regulation of traffic]. Kyiv, 2014. 467 p. [in Ukrainian].
11. Kovalenko L. O. Doslidzhennya ta analiz kharakterystyk transportnykh potokiv na vulytsyakh mista [Research and analysis of the characteristics of traffic flows on city streets]. *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorožnogo universiteta*. Kharkiv, 2010. Iss. 50, P. 80–83. [in Ukrainian].



12. Annual safety report 2018. URL: [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf) (Last accessed: 01.12.2020) [in English].
  13. Monitorynh dorozhno-transportnykh pryhod na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannya derzhavnogo znachennya Ukrainy za 2018 rik [Monitoring of road accidents on public roads of state importance of Ukraine in 2018] : report. DP «DerzhdorNDI». Kyiv, 2019. 73 p. [in Ukrainian].
  14. Dmytrychenko M.F., Lanovyy O.T., Polishchuk V.P. Systemolohiya na transporti. Tekhnolohiya naukovykh doslidzhen' i tekhnichnoyi tvorchosti (Knyha 2) [Systemology in transport. Technology of scientific research and technical creativity (Book 2)]. Kyiv, 2007. 318 p. [in Ukrainian].
  15. Duran B., Odel P. Klasterniy analiz [Cluster Analysis]. Moscow, 1977. 128 p. [in Russian].
  16. Zhambu M. Yerarkhycheskii klaster-analiz i sootvetstviya [Hierarchical cluster analysis and correspondences]. Moscow, 1988. 342 p. [in Russian].
  17. Holdberg A.M., Kozlov V.S. Obshchaya teoriya statistiki [General theory of statistics]. Moscow, 1985. 367 p. [in Russian].
- 

**Volodymyr Kaskiv**<sup>1</sup>, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

**Yevheniia Shapenko**<sup>2</sup>, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0003-0937-9400>

**Oksana Hulchak**<sup>2</sup>, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0001-8186-4529>

**Andrii Voziuk**<sup>3</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-7611-9652>

<sup>1</sup> M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> National Transport University, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup> State Road Agency of Ukraine (Ukravtodor), Kyiv, Ukraine

### SUBSTANTIATION OF FACTORS OF INFLUENCE ON TRAFFIC SAFETY

#### ***Abstract***

Velocity of personal vehicles or traffic flow for a certain period of time and on a certain section of the road is the main indicator that characterizes the impact of road conditions, environment, technical condition of the car and psychophysiological factors on the driver.

To evaluate the each factor impact of on the velocity, survey was conducted on the M-06 Kyiv – Chop road. A cluster analysis of field observation data was performed using the Statistica 12 software, connections were established in the middle of the data set, and the obtained data were organized into certain structures. As a result of the clustering, groups of clusters that have the greatest impact on speed were identified. Determining the hierarchy of factors influencing the speed and safety of the transport process shall improve approaches for modeling traffic flow velocity dependences. The paper describes an analysis of road safety risk factors.

Problem Statement. The need to modernize approaches for traffic flow prediction, traffic volume distribution on the road network, means and methods of traffic management, traffic management systems in connection with quantitative and qualitative changes in the transport sector of Ukraine.

Purpose. Road safety risk factors validation and ranking.

Materials and method. Mathematical modeling and cluster analysis using survey data.

Results. The dependence of speed on road conditions was improved using mathematical modeling.

Conclusions. The hierarchy of factors influencing the speed and safety of the transport process is determined.

**Keywords:** analysis, cluster, safety, road, method, model, velocity.