

УДК 629.113:072

Н.В. Ярещенко

к.тн., доцент., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0778-1474>

Кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна, 61002

Параметри моделі групової поведінки водіїв на автомобільних дорогах

Цитувати як:

Ярещенко Н.В. (2025) Дослідження параметрів моделі групової поведінки водіїв на автомобільних дорогах. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 23, 413-421. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-36](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-36)

© 2025, Ярещенко Н.В.

Анотація У статті проведено аналіз системи Людина – Автомобіль – Дорога - Середовище є важливою частиною при будівництві автомобільних доріг та для подальшого розвитку міжнародних транспортних коридорів між Європейськими країнами. Важливим моментом при цьому є взаємовідносини між поведінкою водіїв. Пропонується розглянути параметри моделі групової поведінки водіїв, для оцінки суспільно необхідної продуктивності водіїв на автомобільних дорогах.

У статті «Параметри моделі групової поведінки водіїв» розглядається питання динаміки розрахункових характеристик транспортного потоку, а саме фактичних і суспільно необхідних швидкостей руху та їх аналіз.

Проведені дослідження фактичної та суспільно необхідної швидкості руху на автомобільних дорогах дозволили автору припустити, що за динамікою розрахункових характеристик можна судити про закономірності еволюції автомобільних доріг.

Важливим завданням проектування автомобільних доріг є довгострокове прогнозування розрахункових характеристик транспортних потоків. Однією з проблем є проблема прогнозування реальних і суспільно необхідних швидкостей руху на автомобільних дорогах.

Швидкість руху системи «людина-автомобіль» у навколишньому середовищі відображає взаємозв'язок між компонентами системи управління аварійністю, оскільки є результатом її функціонування. Тому швидкість можна розглядати як параметр стану даної системи. В якості координати стану доцільно використовувати ймовірність переходу від фактичної швидкості до заданої.

У структурі параметрів стану задану швидкість слід розглядати як нормальну, тобто найбільш узгоджену з цілями та завданнями функціонування системи реагування на надзвичайні ситуації на даному етапі її розвитку.

Координати стану можна використовувати як вагові коефіцієнти в моделі прогнозування швидкості руху.

Модель еволюції замкнутої системи Людина – Транспортний засіб – Дорога – Середовище можна представити у вигляді системи диференціальних рівнянь, що відображають динаміку абсолютної організації її компонентів.

З поступовим поліпшенням умов руху (поетапне будівництво, реконструкція, капітальний ремонт) індивідуальна норма швидкості водія прагне до функціональної норми швидкості за мотивом свободи дій. Остання дорівнює двом третинам розрахункової швидкості автомобіля.

Експериментальні дослідження підтвердили справедливості формул для оцінки параметрів моделі прогнозування.

Модель прогнозування швидкості руху адекватна спостережуваним даним щодо динаміки проектування, та проектування нормальних швидкостей для водіїв.

Виявлено, що вирішення цієї проблеми можливе шляхом аналізу еволюції зв'язків між компонентами системи «людина-автомобіль-транспортне середовище».

Ключові слова: групова поведінка водіїв, математична модель, автомобіль, система, автомобільна дорога.

Вступ

Аналіз системи Людина – Автомобіль – Дорога - Середовище є важливою частиною при будівництві автомобільних доріг та для подальшого розвитку міжнародних транспортних коридорів між Європейськими країнами. Важливим моментом при цьому є взаємовідносини між поведінкою водіїв. Пропонується розглянути параметри моделі групової поведінки водіїв, для оцінки суспільно необхідної продуктивності водіїв на автомобільних дорогах.

Мета і завдання дослідження - оцінити параметри групової поведінки водіїв, що дозволить розрахувати суспільно необхідні планові завдання на вантажні перевезення для водіїв на автомобільних дорогах.

Огляд досліджень. Параметрами моделі групової поведінки водіїв є:

- 1) індивідуальна норма продуктивності W_{ni} ;
- 2) жорсткість індивідуальної норми продуктивності m_i .

Групова норма продуктивності може бути визначена як середньоарифметична з індивідуальних норм

$$W_{ГН} = \sum_{i=1}^I W_{ni} / I, \quad (1)$$

де $W_{ГН}$ - групова норма продуктивності;

I - число водіїв у групі.

В свою чергу сумарна гнучкість індивідуальних норм продуктивності легко визначається через жорсткості індивідуальних норм:

$$S = \sum_{i=1}^I (1/m_i), \quad (2)$$

де S - сумарна гнучкість індивідуальних норм продуктивності.

Тому для оцінки суспільно необхідної продуктивності [1] i -того водія достатньо оцінити два параметра моделі групової поведінки W_{ni} та m_i .

Експериментально параметри моделі оцінювалися на основі аналізу виконання місячних завдань на вантажні перевезення водіїв міста Харкова. Фактичне виконання планових завдань і сам план оцінювалися транспортною роботою в т.км/місяць. Місячний план для роботи водіїв складав $R=5940.552$ т.км/місяць.

Таблиця 1 Характеристики водіїв

Водії	Вік	Клас	Освіта.	Стаж		Порушення трудової дисципліни бал.
				Всього, років	У компанії, років	
1	32	2	8	14	10	2
2	37	2	10	19	15	4
3	43	2	10	24	24	3
4	45	1	10	26	4	4
5	42	1	9	23	5	2
6	46	2	7	18	18	4

Індивідуальні норми планових завдань визначалися як крапки на шкалі $W_{пл}$, в яких відхилення фактичного об'єму вантажних перевезень від планового перетворювалися у нуль

$$\Delta W = W_{ф} - W_{пл} = 0, \quad (3)$$

де ΔW - відхилення об'єму вантажних перевезень від заданого;

$W_{ф}$ - фактичний об'єм вантажних перевезень, т.км.;

$W_{пл}$ - плановий (заданий) об'єм вантажних перевезень, т.км.

Величина ΔW в подальшому використовувалася для оцінки мотиваційних сил та сили мотивації дій водія. [2]

Позитивне відхилення ΔW^+ використовувалося для оцінки сили мотивації вигоди, негативне ΔW^- використовувалося для оцінки сили

мотивації безпеки руху. Сума відхилень ($\Delta W = \Delta W^+ + \Delta W^-$) - для оцінки сили мотивації дій.

Жорсткість індивідуальної норми вантажних перевезень оцінювалася тангенсом кута нахилу зв'язку $\Delta W = f(W_{\text{пл}})$ до осі О $W_{\text{пл}}$. Аналогічно оцінювалися і жорсткості функціональних норм вантажних перевезень для мотивації безпеки руху та мотивації вигоди. Гнучкість зв'язків оцінювалася як величина зворотної жорсткості.

Середньозважена індивідуальна норма планового завдання виявилася рівною 297,0276 т.км. Стосовно (1) даний об'єм вантажних перевезень чисельно дорівнює груповій нормі продуктивності діяльності водіїв.

$W_{\text{ГН}} = 297,0276$ т.км

Середньоквадратичне відхилення фактичних об'ємів вантажних перевезень, здійснюваних окремими водіями, від середнього склало

$\delta = 14,79111$ т.км., а коефіцієнт варіації $k_{\text{в}} = 4,98\%$.

Якщо прийняти задану точність оцінок фактичної продуктивності діяльності водіїв рівною 5%, то при ймовірності рівної 0,95 та $\alpha_{\text{ст}} = 2,11$ мінімальний об'єм оцінок повинен скласти

$N_{\text{min}} = (k_{\text{в}} 2\alpha_{\text{ст}}) / \Delta 2 = (4,982 \cdot 2,112) / 52 = 4,4$ вимірювання

Так як фактичний об'єм вибірки склав 6, то цього достатньо для отримання достовірних результатів.

Аналіз оцінок сили мотивації діяльності водіїв показав наявність лінійного зв'язку сили з величиною планового завдання, табл.3. Коефіцієнт парної кореляції між цими величинами коливається в межах від -0,52 до -0,929, що свідчить про середню та сильну тісноту цього зв'язку.

Багатофакторний регресійний аналіз [3] зв'язку жорсткості індивідуальних норм планових завдань з особистісними характеристиками водіїв дозволили встановити емпіричне рівняння цього зв'язку у вигляді:

$$m_i = 3,655 - 0,114x_1 - 0,151x_2 - 0,307x_3 + 0,267x_4, \quad (4)$$

де m_i - жорсткість індивідуальної норми вантажних перевезень;

x_1 - кваліфікація водія (клас);

x_2 - освіта (середня школа);

x_3 - дисциплінованість, бали;

Коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,392, критерій адекватності Фішера дорівнює 0,608, толерантність дорівнює 0,616.

Залежності мотиваційних сил від величини планового завдання наведені на рис.1.

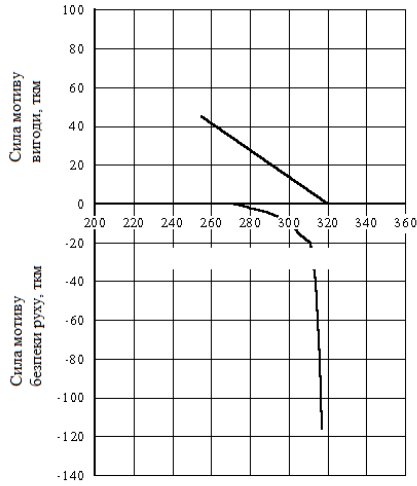


Рис. 1. Вплив величини планового завдання на сили мотивації діяльності водіїв

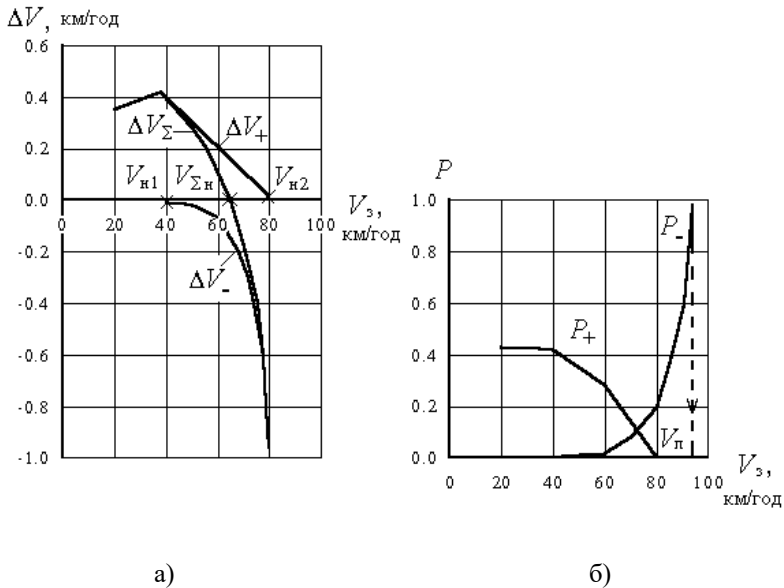


Рис. 2. Сила (а) та частота (б) дії мотивації діяльності водія на ділянці дороги

Аналіз цих залежностей показує, що зв'язок $\Delta W^+ = f(W_{пл})$ лінійний.

Норма продуктивності дії середнього водія для мотивації вигоди $W=320$ т.км. Жорсткість цієї норми дорівнює

$$m_B = -0,717.$$

Зв'язок негативного відхилення ΔW - з плановим завданням $W_{\text{пл}}$ виявився суттєво нелінійним. Але, якщо припустити, що практично планування вантажних перевезень здійснюється в межах функціональних норм, то в цьому інтервалі можливо допустити наявність лінійного зв'язку $\Delta W = f(W_{\text{пл}})$, табл. 2.

Таблиця 2 Сила мотивації та норми планових завдань для водіїв

Водії	Норма планового завдання, т.км	Жорсткість індивідуальної норми, m_i	Гнучкість індивідуальної норми, $1/m_i$	Зв'язок сили мотивації з величиною планового завдання	Коефіцієнт парної кореляції
1	302,666	-2,813	-0,3554923	$\Delta W = 851,4 - 2,813 W_{\text{пл}}$	-0,604
2	283,62	-2,015	-0,4962779	$\Delta W = 571,5 - 2,015 W_{\text{пл}}$	-0,876
3	336,94	-2,339	-0,4275331	$\Delta W = 788,1 - 2,339 W_{\text{пл}}$	-0,618
4	297,415	-0,967	-1,034126	$\Delta W = 28766 - 0,967 W_{\text{пл}}$	-0,672
5	279,057	-2,588	-0,3863987	$\Delta W = 722,2 - 2,588 W_{\text{пл}}$	-0,928
6	286,348	-2,864	-0,349162	$\Delta W = 820,1 - 2,864 W_{\text{пл}}$	-0,929
			$S = -3,69435$		

Тому жорсткість даного зв'язку можна прийняти рівною $m_B = -0,425$.

Функціональна норма продуктивності діяльності водія для мотивації безпеки руху дорівнює $W_{\text{нб}} = 280$ т.км.

Таким чином, індивідуальна норма продуктивності діяльності середнього водія дорівнює

$$W_H = (m_B W_{\text{нб}} + m_B W_{\text{нб}}) / (m_B + m_{\text{нб}}) = [-0,717 \cdot 320 + (-0,425) \cdot 280] / (-0,714 - 0,425) = 305,82 \text{ т.км}, \quad (5)$$

що близько до експериментальної оцінки групової норми продуктивності. Відхилення розрахункової норми продуктивності від експериментальної

дорівнює 2,875 %, що не перевищує 5 % межі допустимої в техніко-економічних оцінках.

Отже, припущення лінійності зв'язку $\Delta W = f(W_{\text{пл}})$ в інтервалі функціональних норм можна рахувати правомочним.

Оцінка параметрів групової поведінки водіїв дозволила розрахувати суспільно необхідні планові завдання на вантажні перевезення для водіїв (табл. 3).

Таблиця 3 Суспільно необхідні об'єми вантажних перевезень водіями

№ водіїв	$\tilde{W}_{\text{пл}}$ т.км в місяць
1	299,88
2	290,34
3	317,03
4	297,33
5	297,08
6	291,73

Результати досліджень

Аналіз оцінок сили мотивації діяльності водіїв показав наявність лінійного зв'язку сили з величиною планового завдання.

Багатофакторний регресійний аналіз зв'язку жорсткості індивідуальних норм планових завдань з особистісними характеристиками водіїв дозволили встановити емпіричне рівняння.

Висновки

При поступовому поліпшенні умов руху (стадійне будівництво, реконструкція, капітальний ремонт) індивідуальна норма швидкості руху водія прагне функціональної норми швидкості мотивації свободи дій.

Експериментальні дослідження підтвердили справедливність формул з метою оцінки параметрів моделі прогнозування.

Конфлікти інтересів

Автор заявляє, що у нього немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автор підтверджує, що при створенні поточної роботи він не використовував технології штучного інтелекту.

References

1. Gavrilov E.V., Dmutrichenko M.F., Sustemologiya na transporti. Organizaciya doroznogo ruju. Vud-vo Znanny Ukrainu.2007.-450 s.
2. Gavrilov E. V., Gridin A.M., Rypujin V.M. Sistemne proektuvania avtomobilnij dorog. Vid. ASB. 1998. -138 s.
3. Klepenko V.U., Golez V.L.,Vischa matematika v prikladaj I zadachaj. Navchalnij posibnik. Vidavnistvo Zentr uchbovoy literature. 2021. 594 s.

Література

1. Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху. Вид-во Знання України, 2007. -450 с.
2. Гаврилов Е.В., Грідін А.М., Ряпухін В.М. Системне проектування автомобільних доріг. Вид. АСБ, 1998 р., - 138 с.
3. Клепенко В.Ю., Голець В.Л., Вища математика в прикладах і задачах. Навчальний посібник. Видавництво Центр учбової літератури. 2021. 594 с.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 19.02.2025	Received 19.02.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 12.05.2025	Received in revised form 12.05.2025
Прийнято 01.06.2025	Accepted 01.06.2025
Опубліковано 25.06.2025	Published 25.06.2025

N.V. Yareshchenko

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0778-1474>
Department: Construction and operation of highways
Kharkiv National Automobile and Road University, Yaroslava Mudrogo St., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002

Parameters of the group behavior model of drivers on motor roads

How to Cite:

Yareshchenko N.V. (2025). Research on parameters of the group behavior model of drivers on motor roads. *Modern technologies and calculation methods in construction*, 23, 413-421.
[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-36](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-36)

Abstract. The analysis of the human-vehicle-road-environment system is an important part of the construction of highways and the further development of international transport corridors between European countries. An important point here is the relationship between the behavior of drivers. It is proposed that the parameters of the model of the group behavior of drivers be considered to assess the socially necessary performance of drivers on highways.

The article "Parameters of the model of the group behavior of drivers" deals with the issue of the dynamics of the calculated characteristics of the traffic flow, namely the actual and socially necessary speeds of movement and their analysis.

The conducted studies of the actual and socially necessary speed of movement on highways allowed the author to assume that the dynamics of the calculated characteristics can be used to judge the laws of the evolution of highways.

An important task of highway design is the long-term forecasting of the calculated characteristics of traffic flows. One of the problems is the problem of forecasting the actual and socially necessary speeds of traffic on highways.

The speed of movement of the "man-car" system in the environment reflects the relationship between the components of the emergency control system, since it is the result of its functioning. Therefore, speed can be considered as a state parameter of a given system. It makes sense to use the probability of transition from the actual to the given speed as the state coordinate.

In the structure of state parameters, the given speed should be considered as normal, i.e., most consistent with the goals and objectives of the functioning of the emergency response system at this stage of its evolution.

State coordinates can be used as weighting coefficients in a motion speed prediction model.

A model of the evolution of a closed-state Human - Vehicle - Road - Environment system can be represented as a system of differential equations reflecting the dynamics of the absolute organization of its components.

With gradual improvement of traffic conditions (phased construction, reconstruction, major repairs), the driver's individual speed norm tends to the functional speed norm for the purpose of freedom of action. The latter is equal to two-thirds of the design speed of the vehicle.

Experimental studies have confirmed the validity of the formulas for estimating the parameters of the forecasting model.

The model for predicting traffic speeds is adequate for the observed data on the dynamics of design, design and normal speeds for drivers.

It was found that the solution to this problem is possible by analyzing the evolution of the relations between the components of the "man-car-traffic environment" system.

Keywords: group behavior of drivers, automobile, highway, mathematical model, system.