

АНАЛІЗ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

У статті проведено аналіз розрахункових характеристик. До розрахункових характеристик автомобільних доріг відносять такі характеристики як інтенсивність, швидкість руху та навантаження на автомобільні дороги. В ситуації яка наразі відбувається, велике значення має навантаження на автомобільні дороги. Через велике навантаження на дорогах, дорожнє покриття не витримує такого навантаження і швидко руйнується. Тому на даний час це питання є дуже актуальним.

У статті «Аналіз розрахункових характеристик на автомобільних дорогах» розглядається питання динаміки розрахункових характеристик транспортного потоку, а саме навантаження на автомобільну дорогу та аналіз навантаження. Проведені дослідження навантаження 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 навантаження на автомобільних дорогах. Розглядається прогноз вантажопідйомності, навантажень на задню вісь автомобілів та розрахункових навантажень на автомобільні дороги.

Для аналізу динаміки вантажопідйомності, конструктивних навантажень на вісь та повної маси автомобіля використовувалися дані про серійні вантажні автомобілі. Тимчасові ряди вантажопідйомностей, конструктивних навантажень на вісь та повних мас вантажних автомобілів будувалися за математичними очікуваннями аналізованих характеристик у перерізах часу через інтервали часу.

Кожна марка автомобіля за допомогою чисельних значень навантажень на вісь, вантажопідйомності та повної маси представлялася горизонтальними відрізками, що проходять вздовж шкали часу на рівні відповідної характеристики. Таким чином, кожен тимчасовий зріз був представлений широким набором навантажень на задню вісь від найменших до гранично допустимих.

Модель прогнозування навантаження адекватна спостережуваним даним щодо динаміки проектування. Проведено аналіз середовища функціонування для визначення і розробки методу прогнозування розрахункових характеристик транспортного потоку на автомобільних дорогах, а саме навантаження, та виявлення негативного впливу на автомобільну дорогу. Виявлено, що вирішення цієї проблеми можливе шляхом аналізу еволюції навантаження на автомобільну дорогу у системі «людина-автомобіль-транспортне середовище».

Ключові слова: математична модель, автомобіль, навантаження, система, автомобільна дорога.

Стаття надійшла до редакції / Received 19.03.2026
Прийнята до друку / Accepted 27.04.2026
Опубліковано / Published 29.05.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Ярещенко Н.В., Сєдов А.В., Фоменко О.О.

Вступ

В ситуації яка наразі відбувається, велике значення має навантаження на автомобільні дороги. Через велике навантаження на дорогах, дорожнє покриття не витримує такого навантаження і швидко руйнується. Тому на даний час це питання є дуже актуальним. Аналіз динамічних рядів показав наявність чергування періодів прискороеного зростання вантажопідйомностей та навантажень на вісь автомобілів із періодами щодо уповільнених темпів зростання цих характеристик. Існують замкнуті та розімкнені періоди розвитку в організаційному стані. Розглядається аналіз чергування замкнутих та розімкнених періодів. Кожен новий підйом вимагає нових ідей, нових конструктивних рішень, які народжуються в періоди уповільнених темпів розвитку. Аналіз показує, що максимальна ентропія у періоди замкнутості також залишається незмінною, а в періоди розімкненого стану різко змінюється.

Мета і завдання дослідження - вивчення можливості застосування методу аналізу середовища функціонування для визначення і розробки методу прогнозування розрахункових характеристик транспортного потоку на автомобільних дорогах, а саме навантаження, та виявлення негативного впливу на автомобільну дорогу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проведені дослідження дозволили запропонувати застосування методології аналізу середовища функціонування для побудови інструментарію оцінювання та оптимізації рішень щодо впливу розрахункових характеристик транспортного потоку та виявлення негативних факторів, які впливають на автомобільну дорогу [1].

Для аналізу динаміки вантажопідйомності, конструктивних навантажень на вісь та повної маси автомобіля використовувалися дані про серійні вантажні автомобілі [2]. Тимчасові ряди вантажопідйомностей, конструктивних навантажень на вісь та повних мас вантажних автомобілів будувалися за математичними очікуваннями аналізованих характеристик у перерізах часу через інтервали часу. Кожна марка автомобіля за допомогою чисельних значень навантажень на вісь, вантажопідйомності та повної маси представлялася горизонтальними відрізками, що проходять вздовж шкали часу на рівні відповідної характеристики. Таким чином, кожен тимчасовий зріз був представлений широким набором навантажень на задню вісь від найменших до гранично допустимих. У кожному перерізі часу будувалися гістограми розподілу досліджуваних характеристик, обчислювалися їхні математичні очікування та середньоквадратичні відхилення. Приклади одержаних гістограм представлені на рис. 1.

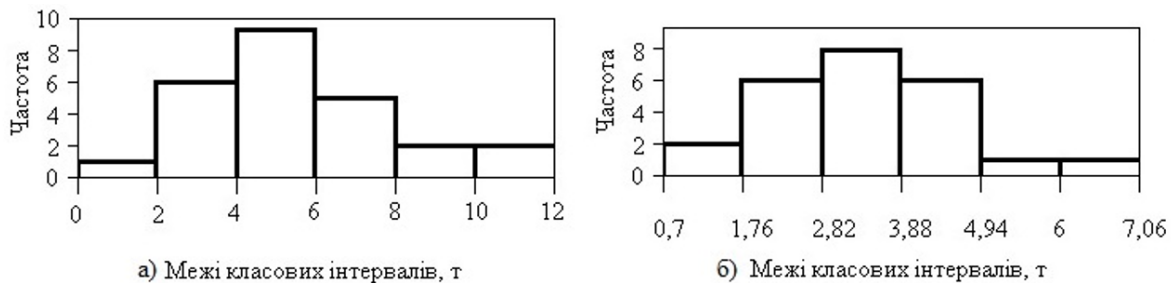


Рисунок 1 – Гістограма розподілу навантажень на задню вісь двовісних вантажних автомобілів та їх вантажопідйомностей

Розподіл прагне нормального закону. Динаміка зміни конструктивних навантажень на вісь та вантажопідйомності вантажних автомобілів представлена на рис. 2. Для вирівнювання динамічного ряду використовуємо спосіб ковзної середньої, згідно з яким вирівнювання здійснюється шляхом послідовного обчислення середніх сусідніх арифметичних значень даного ряду. На рис.2. крапками нанесені емпіричні дані розвитку аналізованих характеристик, суцільними лініями – вирівняні, що ілюструють основні тенденції, чи закономірності процесу.

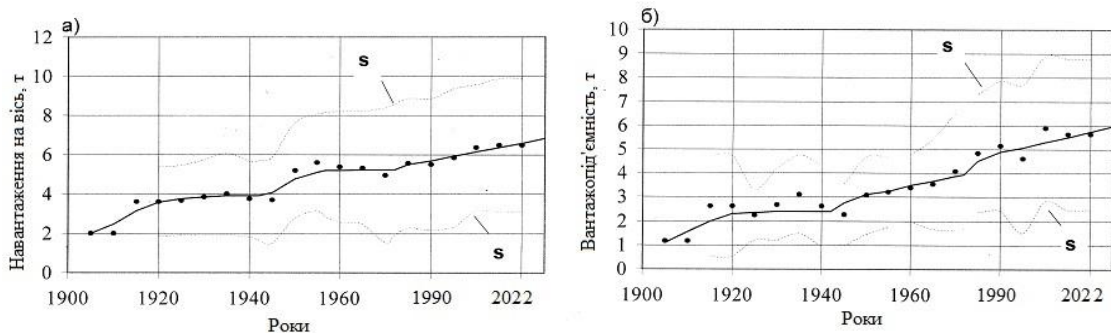


Рисунок 2 – Динаміка зміни конструктивних навантажень на задню вісь двовісних автомобілів та їх вантажопідйомностей: а – конструктивне навантаження; б – вантажопідйомності

Аналіз динамічних рядів показав наявність чергування періодів прискореного зростання вантажопідйомностей та навантажень на вісь автомобілів із періодами щодо уповільнених темпів зростання цих характеристик. На початку проектувалися вантажівки з якомога більшою вантажопідйомністю. Завдяки цьому реалізувалась сама ідея вантажного автомобіля, як вагомої альтернативи транспорту. Цим пояснюється і величезний стрибок у роки розвитку вантажного автомобільного транспорту осьових навантажень.

На початку цього періоду проектування вантажних автомобілів здійснювалося без урахування їх впливу на дороги. У автомобілебудуванні ідеї про замкнуті і розімкнені стани можна простежити за допомогою типажу. З першим періодом вантажних автомобілів збігається другий стрибок замкнутого стану. Далі йде третій стрибок замкнутого стану. Так само змінюється і повна маса.

Після винесення трьох вагових характеристик на одну шкалу, можна зробити порівняльний аналіз щодо його висновку: вагові характеристики – різні у кількісному відношенні, проте ідентичні якісно (рис.3). Але не для всіх показників вищенаведений спосіб ідеальний. Наприклад, при дослідженні еволюції висоти двовісних вантажних автомобілів, розбити на лаги, користуючись динамікою математичних очікувань, важко, оскільки в періоди замкнутого стану стрибки виражені не яскраво. Тому необхідно дослідити ентропійні характеристики станів вантажних автомобілів, використовуючи наведену вище методику.

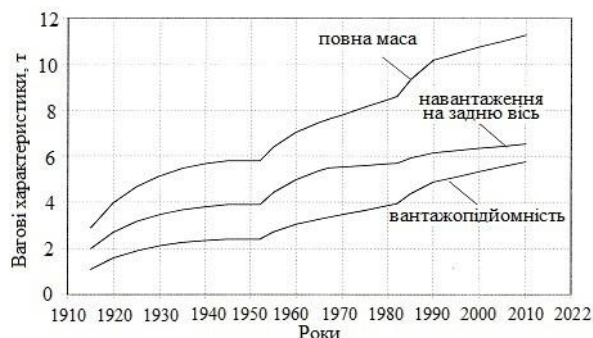


Рисунок 3 – Вагові характеристики двовісних вантажних автомобілів

Теоретичні передумови та результати дослідження

Результати оцінки ентропійних характеристик станів вантажних автомобілів представлені на рис.4.

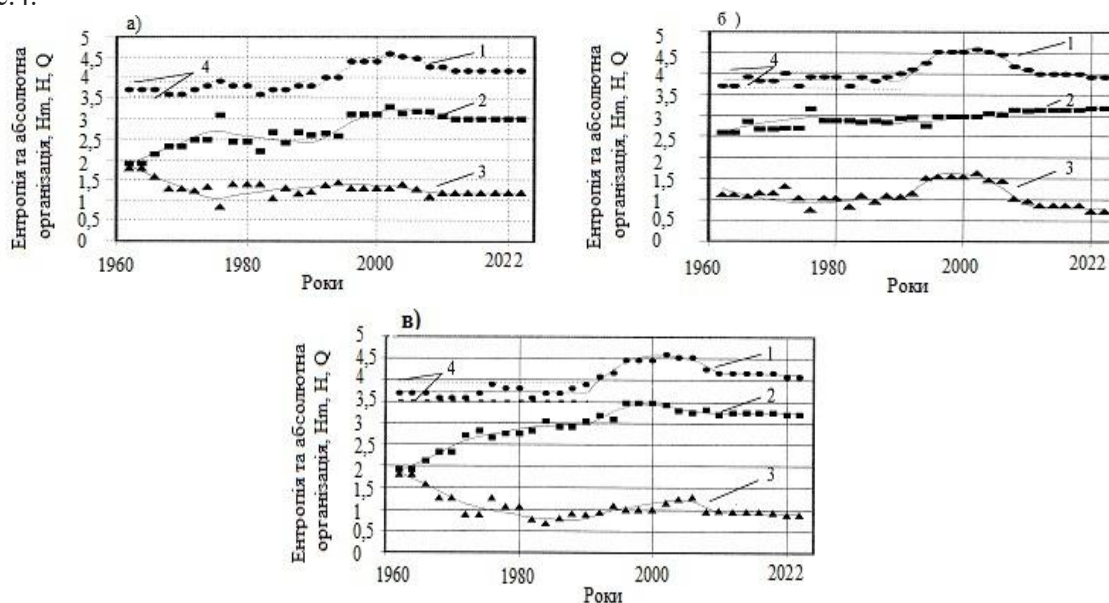


Рисунок 4 – Динаміка ентропії вагових характеристик вантажних автомобілів:

а – повної маси; б – вантажопідйомності; в – навантаження на задню вісь; 1 – максимальна ентропія; 2 – поточна ентропія; 3 – абсолютна організація; 4 – межі довірчого інтервалу

Аналіз динаміки зміни максимальної ентропії автомобіля за повною масою, вантажопідйомністю та навантаженням на вісь показав наявність чітко виражених періодів, у яких максимальна ентропія залишається незмінною ($H_{п} = \text{const}$) та періодів з її різкими змінами.

Так, у період прискорених темпів в отриманні позитивних результатів зміни максимальної ентропії не виходять за межі довірчого інтервалу для її математичного очікування з вірогідністю 0,95. Це дозволяє вважати, що в цей період часу максимальна ентропія вагових характеристик, що розглядаються, залишається постійною, а вантажний автомобіль замкнений в організаційному відношенні. У той же період абсолютна організація вагових характеристик зменшується, проходить

через мінімум і, нарешті, зростає.

Перша частина процесу зміни рівня організації характеризує дезорганізацію автомобіля. Це дуже важливий етап у розбудові вантажного автомобіля. Відбувається руйнація древнього детермінізму, тобто, звичних та відповідних середовищі зв'язків між елементами вантажного автомобіля. Руйнування детермінізму носить функціональний характер і означає збільшення гнучкості автомобіля, його рухливості освіти нових зв'язків. Після проходження мінімуму абсолютної організації її збільшення набувають позитивних значень, що свідчить про формування нового детермінізму. У період уповільнених темпів максимальна ентропія вагових характеристик, що розглядаються, зазнає значних змін, що свідчить про наявність розімкнутого стану автомобіля. Аналіз динаміки рівня організації вантажного автомобіля у період показує, що у першому етапі розімкнутого стану абсолютна організація підвищується, а потім плавно знижується. Зниження абсолютної організації автомобіля в розімкнутому стані показує, що нововведення в цей період призводить до руйнування старого детермінізму. Останнє не сприяє швидкому отриманню нових позитивних результатів та уповільнює темпи розвитку вагових характеристик автомобіля.

Тривалість періодів прискореного зростання досліджуваних характеристик зменшуються, а періодів уповільнених темпів зростання збільшуються відповідно до формул:

$$T_{n+1} = \frac{T_n}{2} \quad (1)$$

$$\tau_{m+1} = 2\tau_m \quad (2)$$

де T – лаг прискореного зростання, років;

τ – лаг уповільненого темпу зростання, років;

n – номер періоду прискореного зростання показника не більше цього етапу розвитку автомобіля;

m – номер періоду уповільненого темпу зростання показника не більше цього етапу еволюції.

Зростання тривалості періодів уповільнених темпів розвитку автомобіля свідчить про збільшення трудомісткості вдосконалення конструкцій автомобілів для отримання корисного результату при переході з періоду на період.

Кожен крок у науково – технічному прогресі пов'язані з проникненням у більш глибокі закономірності, вимагає докладання зусиль [3]. Про це свідчить і зменшення приросту вантажопідйомності та навантажень на вісь при переході від періоду до періоду на етапах прискореного розвитку автомобіля. Зменшення періодів прискореного розвитку свідчить про скорочення часу, необхідного для промислової реалізації наукових ідей.

Таким чином при розбитті на лаги було використано три методи: дослідження динаміки математичних очікувань (виявлення періодів прискореного та уповільненого зростання), аналітичний (виявлення періодів впровадження типажем, як причин прискореного зростання), дослідження ентропійних характеристик [4]. Той факт, що розбіжність у межах періодів незначна, свідчить про об'єктивність загальної картини.

Коефіцієнти приросту вантажопідйомності, навантаження на задню вісь та повної маси автомобіля розраховуються за формулами:

$$K = \frac{B_k}{B_0}, \quad (3)$$

$$K_1 = \frac{H_k}{H_0}, \quad (4)$$

де B_0, H_0 – початкові вантажопідйомність та навантаження на вісь автомобіля в даному періоді еволюції;

B_k, H_k – кінцеві вантажопідйомність та навантаження на вісь автомобіля в даному періоді еволюції.

Вирівнювання емпіричних даних за методом найменших квадратів показало, що коефіцієнти приросту вантажопідйомності автомобіля, навантаження на задню вісь та повній масі при переході до послідовних періодів стану змінюються відповідно до формул:

$$K = 3,2655 - 1,4832n + 0,2616n^2 \quad (5)$$

$$K_1 = 0,85 + 0,15m \quad (6)$$

де K, K_1 – коефіцієнти приросту вантажопідйомності та навантаження на вісь у періоди прискорених темпів розвитку та у періоди уповільнених темпів розвитку відповідно;

n, m – номери періодів прискорених та уповільнених темпів розвитку.

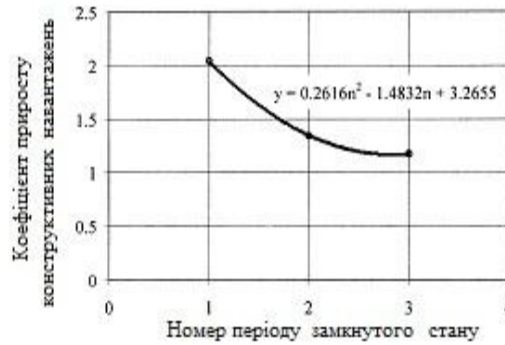


Рисунок 5 – Зв’язок коефіцієнта приросту вагових характеристик із номером замкнутого стану

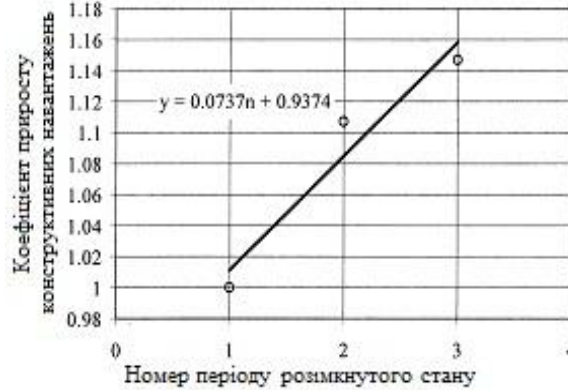


Рисунок 6 – Зв’язок коефіцієнта приросту вагових характеристик із номером розімкнутого стану

Дослідження еволюції вагових характеристик у світі провадиться з метою виявлення загальносвітових тенденцій. Під час формування вибірки використовувалися серійні вантажні автомобілі світових виробників. Обсяг кожної вибірки $N=100$.

Аналіз динаміки зміни вантажопідйомностей двовісних вантажних автомобілів показує чергування замкнутих та розімкнутих періодів. Максимальна ентропія у періоди замкнутості залишається незмінною, у періоди ж розімкненого стану різко змінюється.

Глобальна картина поточної ентропії та абсолютної організації при апроксимації кубічними рівняннями характеризується плавними дугоподібними трендами, що мають екстремуми. Такі глобальні зміни в організації системи характеризують кінець другого етапу наземних транспортних засобів, що підтверджує і різкий стрибок вантажопідйомності.

Дослідження показують, що збої ритму не впливають на кількісне значення аналізованих характеристик, проте їх слід враховувати під час розбиття на лаги.

Відповідно до аналізу (етапу парових двигунів і етапу ДВС) можна дійти висновку у тому, що з переході з етапу на етап всі періоди зменшуються вдвічі:

$$T_{k+1} = \frac{T_k}{2} \quad (7)$$

$$\tau_{k+1} = \frac{\tau_k}{2} \quad (8)$$

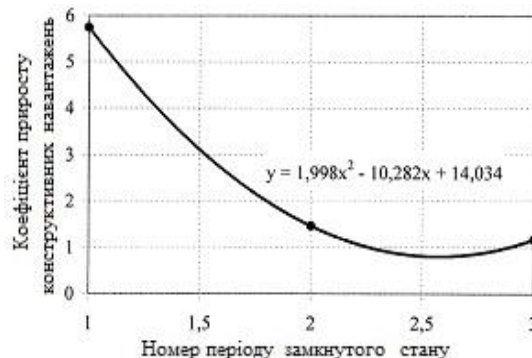


Рисунок 8 – Зв’язок коефіцієнта приросту вагових характеристик із номером замкнутого стану

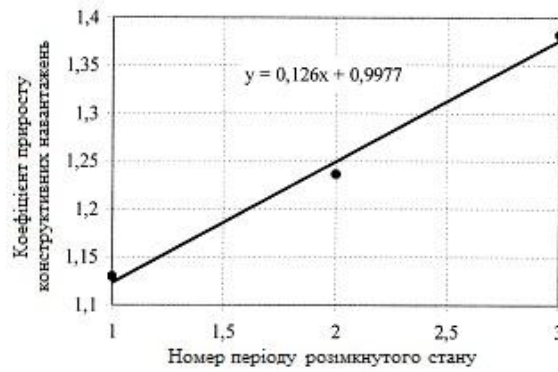


Рисунок 9 – Зв'язок коефіцієнта приросту вагових характеристик з номером розімкнутого стану

За результатами дослідження доведено, що переваги дослідження впливу розрахункових характеристик транспортного потоку полягають у його здатності покращувати якість автомобільних доріг, досліджуючи взаємозв'язок компонентів системи. Проведені дослідження навантажень на автомобільних дорогах дозволили автору припустити, що за динамікою розрахункових характеристик можна судити про закономірності еволюції автомобільних доріг. Важливою задачею проектування автомобільних доріг є довгострокове прогнозування розрахункових характеристик транспортних потоків. Однією з проблем є проблема прогнозування навантажень на автомобільних дорогах. В ситуації яка наразі відбувається, велике значення має навантаження на автомобільні дороги. Через велике навантаження на дорогах, дорожнє покриття не витримує такого навантаження і швидко руйнується. Тому на даний час це питання є дуже актуальним.

Виявлено, що рішення даної проблеми можливе шляхом аналізу еволюції відношень між компонентами системи “людина-автомобіль-середовище руху”

Аналіз прогнозування розрахункових характеристик, таких як навантаження, дає можливість виявити негативні зміни та виробити рекомендації, щодо їх запобігання та усунення.

Висновки

При поступовому поліпшенні умов руху (стадійне будівництво, реконструкція, капітальний ремонт) прогнозування розрахункових характеристик, таких як навантаження, швидкість та інтенсивність руху дає можливість дослідження цих розрахункових характеристик виявити негативні зміни та виробити рекомендації, щодо їх запобігання та усунення. Експериментальні дослідження підтвердили справедливості формул з метою оцінки параметрів моделі прогнозування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Ярещенко Н.В. (2023). Прогнозування експлуатаційних характеристик автомобільної дороги. Organization of scientific research in modern conditions США (DOL. Index Copernicus. Google Scholar). Журнал Sworldjournal Issue 18. Part March 2023. SWorld D.A. Tsenov Academy of Economics. Svishtov. Bulgaria. (ISSN. DOL. Index Copernicus. Google Scholar), с. 148-155.
- [2] Собко Ю.М., Сідун Ю.В. (2019). Проектування автомобільних доріг.. Вид-во Львівська політехніка, – 350 с.
- [3] Солодкий С.Й., Сідун Ю.В. (2021). Інноваційні матеріали та технології в дорожньому будівництві. Вид. Львівська політехніка, – 232 с.
- [4] Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф. (2007). Систематологія на транспорті. Організація дорожнього руху. Видавництво Знання України. 450 с.

REFERENCES

- [1] Yareschenko N.V. (2023). Prognozuvanny ekspluatatsiynih harakteristik avtomobilnoy dorogi. Organization of scientific research in modern conditions США (DOL. Index Copernicus. Google Scholar). Jurnal Sworldjournal Issue 18. Part March 2023. SWorld D.A. Tsenov Academy of Economics. Svishtov. Bulgaria. (ISSN. DOL. Index Copernicus. Google Scholar), S. 148-155.
- [2] Sobko U.M., Sidun U.V. (2019). Proektuvany avtomobilnih dorig. Vud-vo Lvivska politehnika.-350 s.
- [3] Solodkiy S. Y., Sidun U.V. (2021). Innovaciyni materialy ta tehnologii v dorognomu budivnistvi. Vid. Lvivska politehnika. - 232 s.
- [4] Gavrilo E.V., Dmutrichenko M.F. (2007). Sustemologiya na transporti. Organizaciya doroznogo ruju. Vud-vo Znanny Ukrainu.-450 s.

Яреценко Наталія В'ячеславівна – к.т.н, доцент, доцент кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Біруля, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: netyasin4@gmail.com ORCID [0000-0002-0778-1474](https://orcid.org/0000-0002-0778-1474)

Сєдов Андрій Віталійович – к.т.н, доцент, доцент кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Біруля, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: avs.1708@ukr.net ORCID [0000-0002-7879-6614](https://orcid.org/0000-0002-7879-6614)

Фоменко Олена Олександрівна – асистент кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Біруля, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: lensanfom@ukr.net ORCID [0000-0002-4429-1706](https://orcid.org/0000-0002-4429-1706)

N. Yareshchenko
A. Siedov
O. Fomenko

ANALYSIS OF DESIGN CHARACTERISTICS ON HIGHWAYS

Kharkiv National Automobile and Highway University

The article analyzes the design characteristics. The design characteristics of highways include such characteristics as intensity, speed of movement and load on highways. In the current situation, the load on the roads is of great importance. Due to the high load on the roads, the road surface cannot withstand such a load and quickly collapses. Therefore, this issue is very relevant at the moment.

The conducted studies of the load on highways allowed the author to assume that the dynamics of the calculated characteristics can be used to judge the patterns of the evolution of highways. An important task of highway design is long-term forecasting of design characteristics of traffic flows. One of the problems is the problem of forecasting the load on highways. The forecast of load capacity, loads on the rear axle of vehicles and design loads on highways is considered

Data on production trucks were used to analyze the dynamics of load capacity, structural axle loads, and gross vehicle weight. Time series of load capacities, structural axle loads and gross vehicle weights of trucks were constructed based on mathematical expectations of the analyzed characteristics in time sections at time intervals.

Each car brand, using numerical values of axle loads, load capacity, and gross weight, was represented by horizontal segments running along the time scale at the level of the corresponding characteristic.

Thus, each time slice was represented by a wide range of rear axle loads from the lowest to the maximum permissible. The load forecasting model is adequate to the observed data regarding the design dynamics.

An analysis of the operating environment was carried out to determine and develop a method for predicting the design characteristics of traffic flow on highways, namely the load, and identifying the negative impact on the highway

It was found that solving this problem is possible by analyzing the evolution of the load on the road in the "person-car-transport environment system.

Keywords: *mathematical model, car, load, system, highway.*

Natalia Yareshchenko – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Road Construction and Maintenance named after O.K. Birul, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: netyasin4@gmail.com ORCID [0000-0002-0778-1474](https://orcid.org/0000-0002-0778-1474)

Andriy Siedov – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Road Construction and Maintenance named after O.K. Birul, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: avs.1708@ukr.net ORCID [0000-0002-7879-6614](https://orcid.org/0000-0002-7879-6614)

Olena Fomenko – Assistant Professor of the Department of Automobile Road Construction and Maintenance named after O.K. Birul, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: lensanfom@ukr.net ORCID [0000-0002-4429-1706](https://orcid.org/0000-0002-4429-1706)