

М. В. Буряк¹
Р. І. Розум¹
О. П. Захарчук¹
П. В. Прогній¹
П. В. Попович¹
О. С. Шевчук¹
Д. О. Галушак²

ОЦІНКА ДОВГОВІЧНОСТІ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

¹Західноукраїнський національний університет

²Вінницький національний технічний університет

Дана робота передбачає аналітичні дослідження експлуатаційних характеристик автотранспортних засобів з метою підвищення їхньої надійності та довговічності. Надійність колісних транспортних засобів напряму залежить від надійності їхніх окремих складових. Важливу роль в надійності причіпних транспортних засобів відіграє надійність одного із основних її складових несучої рами. Зазвичай найменш надійними елементами каркаса несучої рами є зварні з'єднання. Під час роботи несуча система причепа сприймає просторове навантаження, що діє на неї під час роботи, а їхній напрям і величина зусиль є випадковими. Існуючі теорії несучих каркасів описують системи навантаження для каркасних металевих конструкцій із симетричними, похилими, вертикальними і горизонтальними зусиллями, які виникають при русі зі швидкостями, близькими до максимальних. При аналітичному розрахунку актуальним з точки зору забезпечення максимальної достовірності та кількісної оцінки складу сумарного напруження є питання точності та правильності розрахунку металевої конструкції несучого каркаса. Вирішення цієї задачі на етапі розробки конструкції та проектування позитивно впливає на точність розрахунків, що в свою чергу веде до значного зростання міцності та прогнозованого терміну служби конструкції. З метою скорочення витрати часу на обчислення та експериментальну оцінку, використовуються довідники, що містять розрахункові показники міцності конструкційно-технологічних варіантів вузлів, які мають більш раціональні показники порівняно з базовими варіантами. В роботі запропоновано алгоритм попередньої оцінки основних експлуатаційних характеристик колісних транспортних засобів, підвищення їхньої продуктивності та надійності на етапі проектування. Прикладом застосування цього алгоритму на вантажопідйомні причепа є система аналізу навантаження на раму універсального причепа «Kröger GmbH THL 20».

Ключові слова: надійність, довговічність, вантажні причепа, алгоритм попередньої оцінки навантаження, колісні транспортні засоби.

Вступ

Транспортне забезпечення відіграє важливу роль у логістиці, та це пов'язане не тільки з значною часткою транспортних витрат у виробництві та реалізації продукції, а й з надійністю руху матеріального потоку. Важливу роль поміж різними способами транспортування відіграють саме такі види транспорту, які мають змогу забезпечити високий рівень логістичного обслуговування, одним із критеріїв якого є надійність. Надійності процесу перевезень вантажів та вантажно-розвантажувальних робіт напряму залежить від експлуатаційних характеристик автотранспортних засобів та надійності їхньої роботи. Важливу роль в надійності причіпних транспортних засобів відіграє надійність одного із основних її складових, несучої рами. При проектуванні опорних рам колісних транспортних засобів актуальним є питання точності та правильності розрахунку металевої конструкції несучого каркаса. Вирішення цієї задачі на етапі розробки конструкції та проектування позитивно впливає на точність розрахунків, що в свою чергу веде до значного зростання міцності та надійності конструкції. Тому забезпечення надійності та довговічності роботи вантажних причепів є саме тим резервом, який може забезпечити зниження не тільки собівартості перевезень, але й собівартості продукції загалом.

Метою роботи є розробка алгоритму попередньої оцінки основних експлуатаційних характеристик колісних транспортних засобів, підвищення їхньої продуктивності та надійності на етапі проектування.

Результати дослідження

В Законі України «Про автомобільний транспорт», наказу Міністерства інфраструктури України № 550 від 26.07.2013 р., вказано, що серед основних вимог до технічного обслуговування колісних

транспортних засобів надійність є основною експлуатаційною властивістю оцінки рухомого складу. Експлуатаційні характеристики рухомого складу автотранспортного підприємства залежать від надійної і безперебійної роботи транспортного засобу в тому числі і навантажувальних причепів. Близько 40% агрегатів, що використовуються для транспортування вантажів, а також для вантажно-розвантажувальних робіт, експлуатуються в агропромислових комплексах [3, 6-8]. Згідно із статистичними даними двадцять п'ять відсотків працівників залучаються до транспортування та обслуговування вантажів, а виконання цих робіт може становити 18–22% від виробництва та реалізації продукції. Зі збільшенням рівня інтенсивності виробництва збільшуватиметься частка транспортних витрат. Важливу роль у забезпеченні надійності процесу перевезень вантажів та вантажно-розвантажувальних робіт відіграє надійність і самих транспортних засобів та засобів обслуговування вантажів. Тому забезпечення надійності та довговічності роботи вантажних причепів є саме тим резервом який може забезпечити зниження не тільки собівартості перевезень, але і собівартості продукції загалом [3].

Довговічність та надійність транспортних засобів напряму залежить від надійності їхніх окремих складових. Оскільки однією із основних складових причіпних транспортних засобів є несуча рама, то її надійність відіграє важливу роль. Найменш міцними елементами каркаса є зварні з'єднання. Основні види складових у зварних каркасах є з'єднання рулонних профілів, розташованих в різних комбінаціях. Їхньою особливістю є невелика довжина зварних швів направлених у різні сторони. Незважаючи на порівняно невелику відносну довжину, загальна кількість зварних швів у конструкціях є значною [1]. Під час роботи несуча система причепа сприймає просторове навантаження, що діє на неї під час роботи, а їхній напрям і величина зусиль є випадковими, особливо це залежить від умов роботи транспортного засобу, якості дорожнього покриття та стилю водіння водія. Існуючі теорії несучих каркасів [1, 5] описують системи навантаження для каркасних металевих конструкцій із симетричними, похилими, вертикальними і горизонтальними зусиллями, які виникають при русі зі швидкостями, близькими до максимальних. Рух на твердих ґрунтових дорогах може спричинити коливання мас у вертикальній площині. Дані сили можуть викликати деформацію згину лонжеронів транспортного засобу у вертикальній площині при кососиметричних зусиллях, що виникають при русі полем при порівняно низьких швидкостях. Для цього виду навантажень характерні скручування рами викликані рухом через дорожні перешкоди. Під час руху полем відбувається перекошування в наслідок чого в конструктивних елементах несучої рами виникають напруження, спричинені деформацією у горизонтальній площині. Величина цих напружень може перевищувати ті, що виникають при скручуванні та згині у вертикальній площині [5-7]. Слід відмітити, що в лонжеронах рами теж виникають напруги, викликані тяговою силою трактора. При аналітичному розрахунку актуальним з точки зору забезпечення максимальної достовірності та кількісної оцінки складу сумарного напруження є питання точності та правильності розрахунку металеві конструкції несучого каркаса.

Враховуючи що сумарні напруження, які виникають в перетині тонкостінного профілю є сумою таких складових: σ_0 – напруження від поздовжнього зусилля; σ_x – напруження, що виникають в процесі згину у вертикальній площині; σ_y – напруження, що виникають в процесі згину у горизонтальній площині; σ_ω – напруження, що виникають в процесі кручення [4]. Проводячи розрахунок інтегралу добутку функцій, які представлені відповідними епюрами, отримаємо вираз за допомогою якого визначаються компоненти діючих максимальних нормальних напружень, які діють в поперечних перетинах тонкостінних елементів несучих систем. Оскільки тонкостінні елементи відкритої та замкнутої профільної несучої системи широко використовуються в машинобудуванні, то для розрахунку та дослідження складу сумарних компонентів нормальних напружень проводиться розрахунок використовуваних профілів таких як кутників, швелерів, прямокутних та круглих труб. Вирішення цієї задачі на етапі розробки конструкції та проектування позитивно впливає точність розрахунків, що в свою чергу веде до значного зростання міцності і прогнозованого терміну служби конструкції. Невід'ємною частиною конструювання несучої каркасної системи є розрахунок її міцності та довговічності, що являє собою вивчення довговічності найбільш навантажених елементів конструкції. Щоб скоротити витрати часу на обчислення та експериментальну оцінку, мінімізувати собівартість, а отже і знизити собівартість продукту, необхідно використовувати довідники, що містять розрахункові показники міцності конструкційно-технологічних варіантів вузлів, які мають більш раціональні показники порівняно з базовими варіантами [1, 3, 6, 7].

В процесі проектування нової сільськогосподарської техніки, розробці типів зварних вузлів для конструкції рам передують класифікація вузлів, їхніх конструктивних форм та видів навантаження, аналізу раціональних варіантів типових вузлів, типізації прокатних профілів. Зазвичай на етапі проектування оцінка несучих конструкцій включає розрахунок довговічності зварних з'єднань

максимального навантаження для оцінки міцності та довговічності всієї конструкції. З цієї причини на етапі проектування, за відсутності даних тензометрування спроектованої конструкції, необхідно застосувати відповідну математичну модель для прогнозування терміну служби конструкції [2]. До металевих конструкцій застосовується видозмінена лінійна гіпотеза додавання накопичених ушкоджень в наслідок втоми, тобто втомне пошкодження, що спричиняється амплітудою напруження та є невід'ємною частиною загального, що спричиняє виникнення тріщини втоми, чи руйнування спричинене циклом напруження, та не залежить ні від стану деталі на даний момент, ні від попереднього навантаження, а додається до пошкоджень, спричинених попередніми циклами.

Критичну кількість циклів та величину зміни напружень, що може отримати металоконструкція в процесі експлуатації, корелюють кривою Велера, що представлена рівнянням [3]

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{\sigma_R}{\sigma} \right)^m, \quad (1)$$

де m – показник степеня, значення якого залежить від матеріалу, характеру навантаження, концентрації напружень та коефіцієнта асиметрії, характеризує нахил лівої частини кривої до осі абсцис та дорівнює котангенсу кута α , нахилу лівої гілки кривої втоми.

Результуюча залежність необхідна для оцінки ресурсу несучих металоконструкцій визначається відповідно до [1]

$$T = \frac{a}{D}, \quad (2)$$

де a – безрозмірна величина, яка характеризує накопичення пошкоджень до стадії граничного стану, руйнування;

$$D = n \cdot \int_{\sigma_{\min}}^{\sigma_{\max}} \frac{f(\sigma)}{N(\sigma)} d\sigma \quad (3)$$

де D – накопичене пошкодження за одиницю часу; n – кількість циклів за одиницю часу; $f(\sigma)$ – густина розподілу амплітуд напружень; $N(\sigma)$ – рівняння кривої втоми.

З метою розрахунку ресурсу роботи несучої рами причепа T при проектуванні, у випадках коли величина $a = 1$, актуальним є застосування параметрів рівняння кривої втоми матеріалу в металоконструкціях – аналога (1).

При проведенні розрахунків багатоциклової втоми в машинобудуванні, позитивного результату роботи з емпіричними розподілами можна досягти застосовуючи розподіл Вейбулла–Гнеденка [1, 3]

$$f(\sigma) = \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{\sigma}{a} \right)^{(b-1)} \cdot e^{-\left(\frac{\sigma}{a}\right)^b} \quad (4)$$

де b – параметр розподілу; a – величина розподілу; V – коефіцієнт варіації, величину якого визначають в залежності від виду руйнування, так для транспортних засобів дана величина $V = 0,3-0,4$; E – математичне очікування, що ґрунтується на статистичних даних.

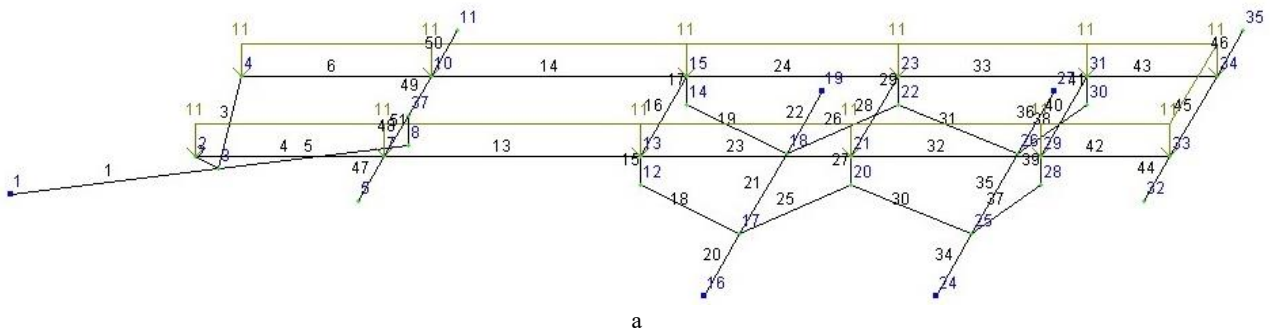
При проведенні попередньої оцінки запасу міцності та ресурсу роботи, на етапі розробки конструкції та проектування несучих металоконструкцій рам транспортних засобів, використовується залежність [4]

$$T = \left[n \cdot \int_{\sigma_{\min}}^{\sigma_{\max}} \frac{\left[\frac{V^{-1,069}}{\left(\frac{E}{(0,55 \cdot V^2 - 0,57 \cdot V + 1,02)} \right)} \right] \cdot \left[\frac{\sigma}{\left(\frac{E}{(0,55 \cdot V^2 - 0,57 \cdot V + 1,02)} \right)} \right]^{(V^{-1,069} - 1)}} \cdot e^{-\left[\frac{\sigma}{\left(\frac{E}{(0,55 \cdot V^2 - 0,57 \cdot V + 1,02)} \right)} \right]^{V^{-1,69}}}}{N_0 \left(\frac{\sigma_R}{\sigma} \right)^m} d\sigma \right]^{-1} \quad (5)$$

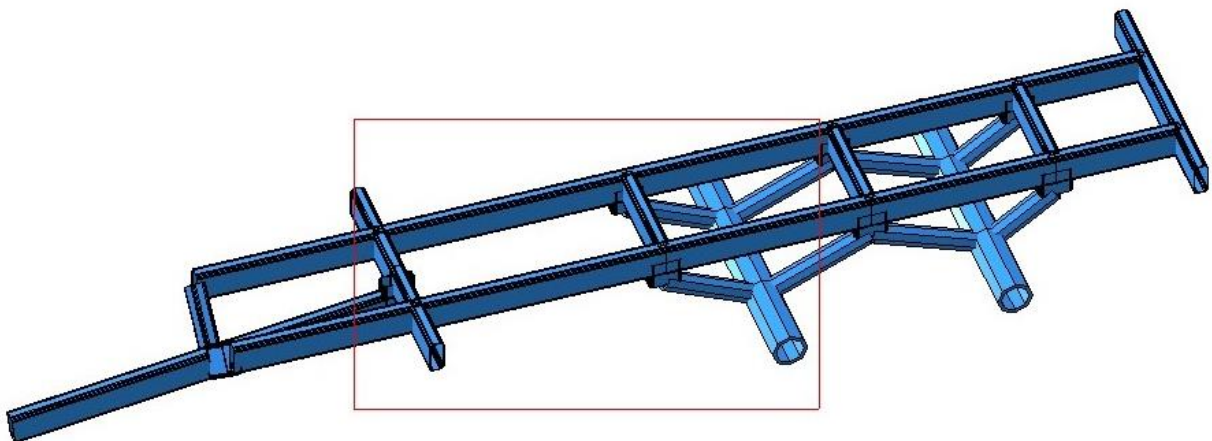
Таким чином при первинній оцінці ресурсу, наприклад, типової рами причепа «Kröger GmbH THL 20», на основі креслень будується розрахункова схема (рис. 1). На основі проведених розрахунків кінцевих елементів (рис. 2) аналізуються навантаження на металеву конструкцію каркаса, щоб можна було визначити перетини та оцінити відмінності в жорсткості, концентрації напружень та рівномірності розподілу напружень.



Рис. 1. Загальний вигляд причепа «Kröger GmbH THL 20»



а



б

Рис. 2. Розрахункова схема конструкції каркаса:
а – розрахункова схема несучої системи; б – результати обчислень

В процесі проведення розрахунків з використанням даної залежності, на прикладі рами причепа «Kröger GmbH THL 20», провівши аналіз експлуатаційних досліджень $\sigma_{\max}=171$ МПа, $\sigma_{\min}=30$ МПа, для даного матеріалу рами $N_0=2 \cdot 10^6$, межа текучості $\sigma_R=\sigma_{-1}=220$ МПа, математичне сподівання $E=140$. У відповідності з рекомендаціями [10] приймаємо очікувану кількість циклів за одиницю часу $n=100$, показник степеня $m=4$. Провівши розрахунки, отримали ресурс причепа $T=0,268 \cdot 10^6$, у відповідності з експериментальними дослідженнями [11] $T=0,282 \cdot 10^6$, тому можна зробити висновок, що модель попередньої оцінки ресурсу, яка була запропонована, достатньо корелює із результатами експериментальних досліджень.

Виходячи з проведених розрахунків для матеріалу конструкції рами, сталі відповідно QSD, приймаємо значення N_0 , межі текучості $\sigma_R=\sigma_{-1}$. Згідно з рекомендаціями [1, 4], приймаємо очікувану кількість циклів за одиницю часу n , показник степеня m .

Висновок

З метою покращення експлуатаційних характеристик автотранспортних засобів запропоновано методику удосконалення підходів до обчислення ресурсу надійності одного із основних її складових, несучої рами. Вирішення цієї задачі на етапі розробки конструкції та проектування позитивно впливає на точність розрахунків, що в свою чергу веде до значного зростання міцності та надійності конструкції. Запропонований алгоритм попередньої оцінки навантаження на несучу систему причепа колісних транспортних засобів, є актуальним способом вирішення питання точності розрахунку металевої конструкції несучого каркаса. Тому удосконалення експлуатаційних характеристик автотранспортних засобів є саме тим резервом, який може забезпечити зниження не тільки собівартості перевезень, але і собівартості продукції загалом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] П. Попович, Т. Рибак, М. Сташків, Я. Господарський, «Аналітична оцінка ресурсу несучих металоконструкцій сільськогосподарських машин», *Вісник ХНТУСГ*, вип. 100, с. 17-20, 2010.
- [2] P. V. Popovych, O. L. Lyashuk, I. S. Murovani, V. O. Dzyura, O. S. Shevchuk, V. D. Myndyuk, «The service life evaluation of fertilizer spreaders undercarriages», *INMATEH - Agricultural Engineering*, vol. 50, no. 3, pp. 39-46, 2016.
- [3] В. М. Невко, Р. В. Невко, О. М. Клендii, М. В. Буріак, Y. V. Dzyadykevych, R. I. Rozum, «Improvement of machine safety devices», *Acta Polytechnica, Journal of Advanced Engineering*, vol.58, no.1, pp.17-25, 2018.
- [4] П. В. Попович, «Методи оцінки ресурсу несучих систем причіпних машин для внесення добрив з врахуванням впливу агресивних середовищ», дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, Тернопіль, 2015.
- [5] P. V. Popovych, L. A. Mahlatyuk, R. B. Kupovych, «Influence of Organic Fertilizers on the Corrosion-Electrochemical Characteristics of Low-Carbon Steels», *Journal of Mathematical Sciences*, vol. 50, no. 2, pp. 284-289, 2014.
- [6] P. V. Popovych, Z. B. Slobodyan, «Corrosion and Electrochemical Behaviors of 20 Steel and St.3 Steel in Ammonium Sulfate and Nitrophoska», *Journal of Mathematical Sciences*, vol. 49, no. 6, pp. 819-826, 2014.
- [7] R. I. Rozum, M. V. Buriak, O. P. Zakharchuk, «Innovative engines in the history of automobile building», *Modern engineering and innovative technologies*, vol. 2, no.18, pp. 64-67, 2021.
- [8] В. Фалович, Н. Фалович, С. Семенюк, «Засади розвитку координування як емерджентної якості ланцюга поставок інвестиційних товарів», *Галицький економічний вісник*, том 69, № 2, с. 146–152, 2021.
- [9] В. А. Фалович, *Економічні, соціальні та психологічні аспекти сучасних маркетингових технологій*. Тернопіль: ФОП Шпак В. Б., 2019, с. 91–108.
- [10] М. Черновол, С. Гранкін, В. Малахов, В. Черкун, *Надійність с/г техніки*. К.: Урожай, 1998.
- [11] П. В. Попович, О. С. Шевчук, «Організація діяльності автомобільного транспорту як функції безпеки дорожнього руху», на *Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти*, Кривий Ріг, 2017, с. 180-184.
- [12] П. В. Попович, П. О. Марущак, В. О. Дзюра, О. С. Шевчук, *Оцінка довговічності засобів транспорту в АПК з урахуванням впливу агресивних середовищ*. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018.
- [13] П. Попович, О. Шевчук, І. Мурований, «Підвищення ефективності технологій перевезень організаційними шляхами надання транспортних послуг», *Вісник ХНТУСГ*, вип. № 184, с. 124-130, 2017.
- [14] П. В. Попович, О. С. Шевчук, А. Й. Матвіїшин, В. М. Лотоцька, «Дослідження тенденцій розвитку ринку вантажних автомобільних перевезень у сучасних умовах», *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*, № 2, с. 224-229, 2016.

Буряк Микола Васильович – канд. техн. наук, доцент кафедри транспорту і логістики, e-mail: Burjak74@ukr.net

Розум Руслан Іванович – канд. техн. наук, доцент кафедри транспорту і логістики, e-mail: Rozoom_ruslan@ukr.net

Захарчук Олена Павлівна – канд. техн. наук, доцент кафедри транспорту і логістики, e-mail: Olenaskyba8500@gmail.com

Прогній Павло Богданович – канд. техн. наук, ст. викладач кафедри транспорту і логістики, e-mail: PPopovych@ukr.net

Попович Павло Васильович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри транспорту і логістики, e-mail: ppopovuch@gmail.com

Шевчук Оксана Степанівна – канд. техн. наук, доцент кафедри транспорту і логістики, e-mail: oksana_shevchuk84@ukr.net

Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль

Галушак Дмитро Олександрович – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: galuschak.d@gmail.com

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

M. Buriak¹
R. Rozum¹
O. Zakharchuk¹
P. Prohni¹
P. Popovych¹
O. Shevchuk¹
D. Galuschak

Assessment of durability of metal structures of motor vehicles

¹West Ukrainian National University
²Vinnitsia National Technical University

The article deals with the development of algorithms preliminary assessment of the main operational properties wheeled vehicles - safety bearing the example of trailers at the design stage to improve the level of This work involves analytical studies of the performance of vehicles in order to increase their reliability and durability. The reliability of wheeled vehicles directly depends on the reliability of their individual components. The reliability of one of its main components of the supporting frame plays an important role in the reliability of trailer vehicles. Usually the least reliable elements of the frame of the supporting frame are welded joints. During operation, the load-bearing system of the trailer perceives the spatial load acting on it during operation, and their direction and magnitude of effort are random. Existing load-bearing frame theories describe load systems for frame metal structures with symmetrical and inclined, vertical and horizontal forces that occur when moving at speeds close to the maximum. In analytical calculation, the issue of accuracy and correctness of the calculation of the metal structure of the load-bearing frame is relevant in terms of ensuring the maximum reliability and quantitative assessment of the total stress. Solving this problem at the stage of design development and design has a positive effect on the accuracy of calculations, which in turn leads to a significant increase in strength and projected service life of the structure. In order to reduce the time spent on calculations and experimental evaluation, reference books are used, which contain the calculated strength indicators of structural and technological variants of nodes, which have more rational indicators compared to the basic variants. The algorithm of preliminary estimation of the basic operational characteristics of wheeled vehicles, increase of their productivity and reliability at the design stage is offered in the work. An example of the application of this algorithm to lifting trailers is the load analysis system on the frame of the universal trailer "Kröger GmbH THL 20".

Key words: reliability, durability, cargo trailers, algorithm of preliminary estimation of loading, wheeled vehicles.

Buryak Mykola – Ph. D. (Eng), Associate Professor of Transport and Logistics, e-mail: Burjak74@ukr.net

Rozoom Ruslan – Ph. D. (Eng), Associate Professor of Transport and Logistics, e-mail: Rozoom_ruslan@ukr.net

Zakharchuk Olena – Ph. D. (Eng), Associate Professor of Transport and Logistics, e-mail: Olenaskyba8500@gmail.com

Progniy Pavlo – Ph. D. (Eng), lecturer at the Department of Transport and Logistics, e-mail: PPopovich@ukr.net

Popovich Pavlo – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Transport and Logistics, e-mail: PPopovich@ukr.net

Shevchuk Oksana – Ph. D. (Eng), Associate Professor of Transport and Logistics, e-mail: oksana_shevchuk84@ukr.net

Galuschak Dmytro – Ph. D. (Eng), Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: galuschak.d@gmail.com