

Б. П. Серeda¹
С. М. Турпак²
С. О. Романюк³
Д. Я. Муковська⁴

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАРШРУТАХ ТРАНСПОРТНО-ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ

¹Дніпровський державний технічний університет
²Національний університет «Запорізька політехніка»
³Вінницький національний технічний університет
⁴Публічне акціонерне товариство «Запоріжсталь»

У цій статті проведено удосконалення методики вибору кількості та вантажопідйомності рухомого складу на технологічних маршрутах транспортно-виробничої системи перевезення технологічних відходів металургійного підприємства. Наведені основні особливості організації перевезень металургійних шлаків на вітчизняних підприємствах, серед яких доцільно виділити такі: обмежена кількість типів рухомого складу на маршрутах, невелика відстань перевезення вантажів (порівняно з перевезенням інших видів вантажів), безперервні технологічні процеси, що зумовлюють цілодобовий режим роботи із мінімальними перервами на обід та зміну персоналу, достатньо стабільний добовий обсяг перевезень та ін. Обґрунтовано вибір кількості та вантажопідйомності рухомого складу, як один з основних засобів керування транспортно-виробничими системами. Запропоновано обрати за критерій ефективності функціонування системи – мінімум часу простою транспорту в очікуванні виконання вантажних операцій. Для цього було виконано трансформування традиційних формул розрахунку необхідної кількості рухомого складу на маршруті перевезень. З урахуванням вищевказаних особливостей функціонування транспортно-виробничої системи отримано вирази визначення необхідної кількості рухомого складу з урахуванням критерію – мінімум часу простою транспорту в очікуванні виконання вантажних операцій. Це дало змогу проводити розрахунки з одночасним використанням автотранспорту різної вантажопідйомності. Наведені результати розрахунків дали змогу визначити найбільш раціональний варіант використання рухомого складу певної вантажопідйомності. Для оцінки можливого впливу нерівномірності побудовано графіки руху транспортних засобів на маршруті перевезень. Проведено статистичний аналіз тривалості навантаження, що дало змогу визначити, що зменшення тривалості простою спостерігається на 40 % оборотів автотранспорту, із них лише 3 % випадків можуть призвести до порушень ритмічності виконання графіка. Отже, встановлення раціональної тривалості простою самоскидів в очікуванні вивантаження є важливим елементом організації перевізного процесу.

Ключові слова: металургійні шлаки, кар'єрні самоскиди, відвали, вантажні операції, рухомий склад, технологічні маршрути, час простою, вантажопідйомність, кількість їздок, швидкість руху, графік руху.

Вступ

Ефективне функціонування транспортно-виробничих систем підприємств гірничо-видобувного комплексу багато в чому залежить від ефективної організації перевізного процесу, який полягає у своєчасній доставці вантажів відповідно до технології і потреб виробництва з мінімальними витратами. Не є винятком і транспортно-виробничі системи перевезення металургійних шлаків, на яких організація вантажних перевезень пов'язана з надважкими умовами експлуатації вантажних автомобілів і забезпеченням безперервних технологічних процесів рециклінгу відходів основного виробництва. Використання автосамоскидів обумовлене перевагами цього транспорту: відносна невелика вартість цього транспорту порівняно з іншими, маневреність, використання дизельного палива (незалежність від електричних мереж), мобільність, яка дає можливість застосовувати їх на будь-яких горизонтах у кар'єрі, більший ухил, що долається автосамоскидами при підйомі, спрощення процесу створення кар'єрних доріг, незначні робочі майданчики та ін. [1].

Дослідженню транспортно-виробничих систем присвячено низку робіт [2–5]. В умовах сьогодення перед підприємствами постає задача збільшення прибутку й підвищення ефективності управління виробничими процесами, зокрема й перевезеннями. Для стійкого розвитку транспортно-виробничих систем необхідний новий підхід у дослідженнях, що дозволить оперативно враховувати зміни навколишнього середовища, адекватно реагувати на мінливу поведінку споживачів транспортних послуг, а також ефективно впливати на попит і пропозицію [6, 7].

Перевезення вантажів у транспортно-виробничих системах перевезення шлаку здійснюється в мінливих умовах навколишнього середовища і пов'язане з випадковими процесами, які виникають у процесі перевезення вантажів, як наслідок, при вантажних операціях виникає ненормований час, який призводить до зниження ефективності функціонування системи загалом. Тому вкрай важливо при виборі рухомого складу враховувати стохастичну природу часу простою рухомого складу.

Види транспортних засобів і потреба в них встановлюються на основі дослідження внутрішньозаводських вантажопотоків, тобто кількості вантажу, переміщеного за певний проміжок часу в певному напрямку між пунктами навантаження і розвантаження [8]. Раціональний розподіл різнотипного рухомого складу за різними завданнями належить до розподільчих задач. Якщо при цьому попит на перевезення є детермінованими, а ефект використання рухомого складу пропорційний їх кількості, то такий розподіл здійснюють методами лінійного програмування [9]. Автори у роботі [10] при виборі рухомого складу пропонують враховувати такі чинники: транспортні, дорожні, природно-кліматичні, конструкційні, експлуатаційні якості, економічні критерії. У роботі [11] наведено аналіз методик оцінки й вибору раціонального типу рухомого складу, серед яких є такі: залежно від характеру перевезень і типу вантажу, за техніко-експлуатаційними та споживчими властивостями. Автори [12] пропонують обирати рухомий склад за продуктивністю, а саме з використанням різноманітних показників: ваги та об'єму вантажу, питомої витрати палива, відстані перевезень. Більш висока вантажопідйомність та коефіцієнт використання (менша власна маса), а також менша витрата палива (низький опір коченню та повітрю) можуть максимально підвищити ефективність при заданій швидкості руху та відстані. У роботі [13] розглядається алгоритм вибору найраціональнішого виду транспорту за умовами конкретного перевезення. Для обґрунтування економічної доцільності застосування того або іншого виду транспорту необхідно враховувати географію виробництва і споживання товарів, обсяги вантажопотоків, наявність і стан рухомого складу, сезонність і ритмічність робіт на транспорті та у виробників товарів, систему організації перевізного процесу. Автори у роботі [14] представили результати розв'язання задачі вибору кількості та типу автомобілів, які досягалися визначенням спеціалізації та підбору вантажопідйомності рухомого складу, що б привели до зниження собівартості перевезень. На думку авторів, у дослідженні [15] задача вибору раціонального рухомого складу полягає у розподілі наявних ресурсів для виконання відомих замовлень. Якщо йдеться про тривалий період планування (сезон, рік, декілька років), то постає інша задача – формування раціональної структури парку.

Наявні дослідження при виборі раціонального парку вантажних автомобілів не враховують специфіку роботи вантажного автотранспорту і стохастичну природу часу простою рухомого складу при перевезенні металургійних шлаків.

Метою статті є удосконалення методики вибору кількості та вантажопідйомності рухомого складу на технологічних маршрутах транспортно-виробничої системи перевезення металургійних шлаків за критерієм мінімуму часу простою транспорту в очікуванні виконання вантажних операцій.

Результати дослідження

Серед основних особливостей організації перевезень металургійних шлаків необхідно зазначити такі:

- відсутність суттєвого різноманіття типу рухомого складу на маршрутах. На відміну від загальноприйнятого розуміння, що при перевезеннях розповсюджених видів вантажів автотранспортом одним із шляхів оптимізації перевезень є вибір найбільш економічно ефективного типу транспорту, у цьому випадку є суттєві обмеження щодо наявності великовантажного транспорту на ринку транспортно-логістичних послуг. Кар'єрні самоскиди є високовартісною технікою, тому інший варіант можливих змін у цьому контексті – придбання нових моделей підприємством – здійснюється нечасто. Тож необхідно на це зважати при удосконаленні методики організації перевезень;

- відстань перевезень від відвалів до пункту переробки шлаків коливається у досить короткому діапазоні, становить зазвичай 0,5...3 кілометри. Це також можна використати для спрощення методології організації перевезень;

- розповсюдженим є цілодобовий режим роботи із мінімальними перервами на обід та зміну персоналу;

- можливість підібрати раціональне співвідношення параметрів місткості ковшів кар'єрних екскаваторів та кузовів самоскидів забезпечує високий коефіцієнт використання вантажопідйомності – понад 0,9;

- достатньо стабільний добовий обсяг перевезень;

– параметрами, які мають найбільший вплив на ефективність перевезень, є кількість транспортних та навантажувально-розвантажувальних засобів.

Крім того, при організації перевезень шлаку бажано забезпечити відповідність продуктивності пунктів навантаження з пунктами вивантаження. Отже, одним із засобів керування транспортно-виробничою системою є вибір кількості та вантажопідйомності рухомого складу. За критерій ефективності можна обрати мінімум часу простою транспорту в очікуванні виконання вантажних операцій.

Для цього виконаємо трансформування традиційних формул розрахунку необхідної кількості рухомого складу на маршруті перевезень:

$$N_{авт} = \frac{Q_{доб}}{П_{авт}}, \quad (1)$$

де $Q_{доб}$ – добовий обсяг перевезень вантажу, т/добу. В умовах конкретного підприємства на певний період $Q_{доб}$ є константою, відповідно до переробної спроможності виробничого комплексу $Q_{доб} = 6000$ т/добу; $П_{авт}$ – продуктивність роботи автотранспорту, яка визначається виразом:

$$П_{авт} = q_n \cdot k_g \cdot E, \quad (2)$$

де q_n – вантажопідйомність автотранспортного засобу (змінний параметр, за умовами цього дослідження q_n становить 30 або 42 т), т; k_g – коефіцієнт використання вантажопідйомності, можна вважати константою, $k_g = 0,9$; E – кількість їздок за добу, на маятникових маршрутах із зворотним холостим пробігом визначається виразом:

$$E = \frac{T_M V_T}{l_M + V_T \cdot t_g}, \quad (3)$$

де T_M – тривалість роботи транспортно-виробничого комплексу з доставки та переробки металургійних шлаків, приймаємо 22 год/добу; V_T – середня швидкість руху автотранспорту на маршруті – 9 км/год; l_M – довжина маршруту, км; t_g – тривалість вантажних операцій на маршруті, год. Операції з навантаження та вивантаження тривають приблизно 0,1 год.

Виходячи з (1)–(3), з урахуванням вищевказаних особливостей функціонування транспортно-виробничої системи доставки металургійних шлаків, та враховуючи, що час вантажних операцій складається з часу виконання навантаження / вивантаження ($t_{нв}$) та простою в черзі в очікуванні цих операцій $t_b = t_{нв} + t_{пр}$, отримуємо вирази

$$N_{авт} = \frac{Q_{доб}}{q_n k_g \frac{T_M V_T}{l_M + V_T (t_{нв} + t_{пр})}}; \quad (4)$$

$$t_{пр} = \frac{N_{авт} q_n - 131}{303}. \quad (5)$$

Можливим є розрахунок з одночасним використанням автотранспорту різної вантажопідйомності, водночас приймається її усереднене значення. У таблиці 1 наведено результати розрахунків за різними варіантами використання рухомого складу на маршруті перевезень.

Таблиця 1

Результати розрахунків за різними варіантами використання рухомого складу на маршруті перевезень

Кількість автомобілів, $N_{авт}$	Середня вантажопідйомність автомобілів на маршруті, q_n	Простій автомобілів, хв	Варіант використання типів рухомого складу
4	30	–2,200	4 авт./30 т
5	30	3,800	5 авт./30 т
6	30	9,700	6 авт./30 т
3	42	–1,000	3 авт./42 т
4	42	7,300	4 авт./42 т
5	42	15,600	5 авт./42 т
3	38	–3,400	3 авт./38 т (2 x 42 т, 1 x 30 т)
4	36	2,600	4 авт./36 т (2 x 42 т, 2 x 30 т)
4	39	5,000	4 авт./39 т (3 x 42 т, 1 x 30 т)

На рисунку 1 наведено позитивні значення часу простою самоскидів протягом обороту у хвилинах (окрім випадків використання кількості автотранспортних засобів більше мінімально необхідного зі значним часом простою). Отримання від’ємних значень простою свідчать про нестачу ресурсів для виконання плану перевезень за заданими параметрами.



Рис. 1. Аналіз залежності тривалості простою від кількості та вантажопідйомності транспортних засобів

У цьому випадку найменшим є показник простою 2,6 хв/оборот при використанні двох самоскидів вантажопідйомністю 42 т та двох – 30 т. За економічними показниками доцільно порівняти цей варіант із варіантом використання 5 автомобілів вантажопідйомністю 30 т.

Для оцінки можливого впливу нерівномірності побудуємо графіки руху транспортних засобів на маршруті перевезень (рис. 2).

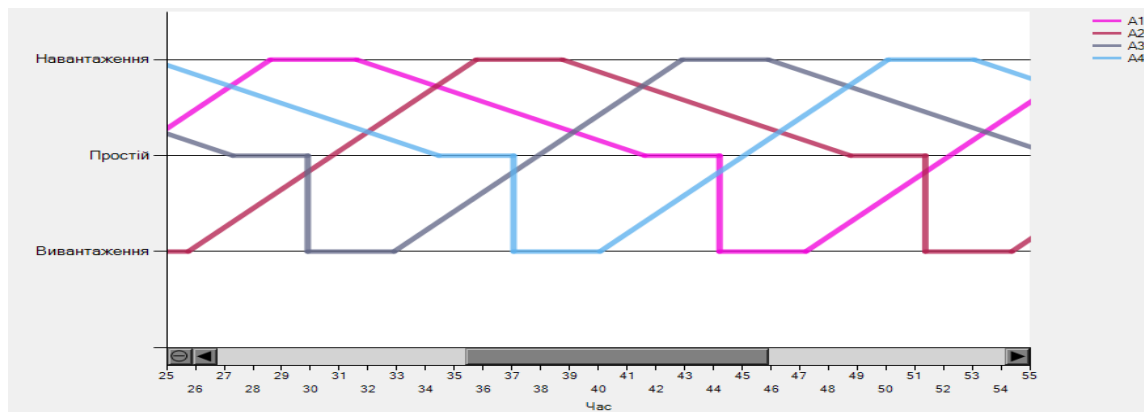


Рис.2. Фрагмент графіка роботи транспортних засобів на маршруті перевезень

Враховуючи стохастичний характер тривалості навантаження через низку факторів (стан штабелю вантажу, досвід працівників, погодні умови тощо), що зазвичай описується нормальним законом розподілу випадкової величини (рис. 3), тривалість простою є «буферним» часом, корегування якого дає змогу зберігати встановлену ритмічність роботи.

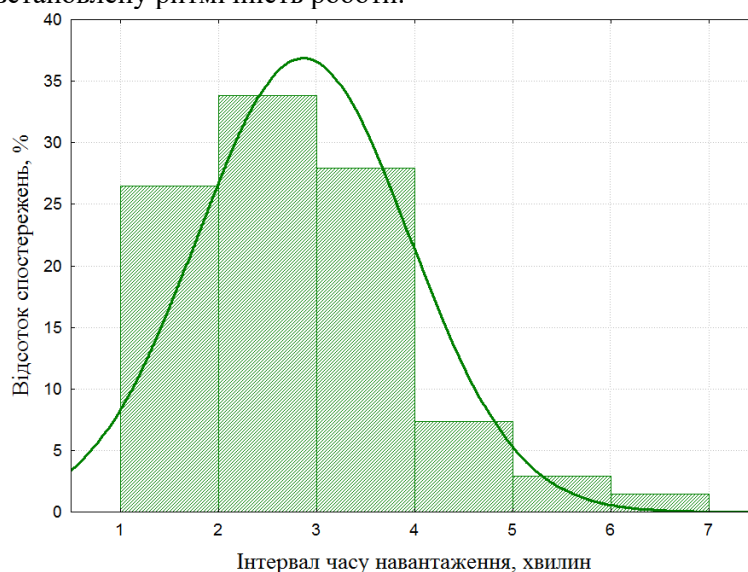


Рис. 3. Статистичний аналіз тривалості навантаження (діаграма – емпіричний розподіл, лінія – нормальний розподіл)

У цьому випадку зменшення тривалості простою спостерігається на 40 % оборотів автотранспорту, з них лише 3 % випадків можуть призвести до порушень ритмічності виконання графіка, що нівелюється випадками меншої тривалості навантаження.

Отже, встановлення раціональної тривалості простою самоскидів в очікуванні вивантаження є важливим елементом організації перевізного процесу.

Висновки

Проведення дослідження дало змогу визначити мінімум часу простою транспорту в очікуванні виконання вантажних операцій, як можливий критерій ефективності функціонування транспортно-виробничої системи доставки металургійних шлаків. Ця методика передбачає, що у разі одночасного використання автотранспорту різної вантажопідйомності приймається її усереднене значення. Внаслідок розрахунків отримали значення $t_{пр}$ за різними варіантами використання рухомого складу на маршруті перевезень. За економічними показниками доцільно порівняти варіант при використанні двох самоскидів вантажопідйомністю 42 т та двох – 30 т, $t_{пр}$ при якому складає 2,6 хв/оборот та варіант при використанні п'яти автомобілів вантажопідйомністю 30 т з $t_{пр}$ 3,8 хв/оборот. Оцінка можливого впливу нерівномірності показала, що на 40 % оборотів автотранспорту спостерігається зменшення тривалості простою, з них лише 3 % випадків можуть призвести до порушень ритмічності виконання графіка, що нівелюється випадками меншої тривалості навантаження. Пропонується використання цього критерію раціонального часу простою в системі доставки шлаку, рекомендовані значення $t_{пр}$ знаходяться у діапазоні 0,5...2 $t_{нв}$, що може бути уточненим за запропонованою методикою для конкретних умов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Анісімов О. О., Довгалюк І. А. Дослідження показників роботи кар'єрних самоскидів та підвищення їх продуктивності в умовах Стрижаського родовища мігматитів. *Розробка родовищ корисних копалин*, 2015.
- [2] Шарай С. М., Стефанович О. М., Рой М. П. Методика вибору послідовності виконання замовлень на міжміські вантажні автомобільні перевезення. *World Science*. 2021. № 9(70). С. 1–7.
- [3] Чупрін Є. С., Кондратенко Є. В., Гелеверя Є. М. Аналіз та перспективи розвитку транспортної галузі України з позиції автотранспортних підприємств. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2019. Вип. 24. С. 125–130.
- [4] Літвінова Я. В., Барановський О. Д. Пошук та обґрунтування шляхів підвищення ефективності перевезень тарноштучних вантажів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2020. № 5(89). С. 22–31.
- [5] Калініченко О. П., Павленко О. В., Нефьодов В. М. Оптимізація рішення задач оперативного планування вантажних перевезень на автомобільному транспорті. *Комунальне господарство міст*. 2018. Вип. 142. С. 108–113.
- [6] Ziebuhr M., Kopfer H. Solving an integrated operational transportation planning problem with forwarding limitations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2016. Vol. 87. P. 149–166. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.tre.2016.01.006>.
- [7] Дослідження економічної доцільності автомобільних перевезень / Г. І. Нестеренко та ін. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті*: зб. наук. пр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти та молодих вчених, м. Рубіжне (Луганська обл.), 1–2 груд. 2020 р. Сєвєродонецьк, 2020. С. 126–129.
- [8] Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень / В. В. Аулін та ін. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. № 1(11). С. 4–10.
- [9] Кусяк М. М., Мельник В. М. Критерії вибору парку транспортних засобів для забезпечення ефективної системи вантажних перевезень. *Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів*. 2019. № 1. С. 194–195.
- [10] Галкін А. С. Щодо оцінки ефективності перевезень вантажів однотипними транспортними засобами. *Technology audit and production reserves*. 2013. № 6/3(14). С. 11–14.
- [11] Методика вибору рухомого складу, маршруту і графіка перевезення вантажів / А. П. Поляков. *Наукові праці ВНТУ*. 2011. № 3. С. 1–10.
- [12] Khavruk V. O., Parkhomenko O. O. Критерії оцінки й вибору рухомого складу АТП. *Science and Transport Progress*. 2021. Вип. 2(92). С. 17–28.
- [13] Glaeser, K. P., Ritzinger, M. A. Comparison of the Performance of Heavy Vehicles Results of the OECD Study: «Moving Freight with Better Trucks». *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2012. № 48. С. 106–120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.992>.
- [14] Савченко Л. В. Задача вибору виду транспорту для вантажоперевезення. *Вісник Національного транспортного університету*. 2012. Вип. 26(2). С. 267–272.
- [15] Шматко Д. З., Сасов О. О., Сподинець М. Д. Розв'язання задачі вибору кількості та типу автомобілів при забезпеченні вантажних перевезень. *Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики*: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 90-річчю від дня народження професора Рибка Тимофія Івановича та 60-річчю кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин. 2022. С. 178–179.

Серета Борис Петрович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри «Автомобілі та автомобільне господарство», e-mail: seredabp@ukr.net

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Турпак Сергій Миколайович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри «Транспортні технології», e-mail: sergeyturpak@gmail.com

Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

Романюк Світлана Олександрівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент», e-mail: romchuk.s85@gmail.com

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Муковська Дарина Яківна – ПАТ «Запоріжсталь», e-mail: dariamykovska@gmail.com

B. Sereda¹
S. Turpak²
S. Romanyuk³
D. Mukovska⁴

Improving the methods of organizing transportation on technological routes of the transportation and production system of waste recycling

¹ Dniprovsky State Technical University

² National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

³ Vinnytsia National Technical University

⁴ PJSC Zaporozhstal is a metallurgical plant of Ukraine

In this article, the method of selecting the number and carrying capacity of rolling stock on the technological routes of the transport and production system of recycling technological waste of a metallurgical enterprise has been improved. The main features of the organization of the transportation of metallurgical slag at domestic enterprises are given, among which it is advisable to highlight the following: a limited number of types of rolling stock on the routes, a short distance of cargo transportation (compared to the transportation of other types of cargo), continuous technological processes, which lead to a 24-hour working mode with minimal interruptions for lunch and staff changes, fairly stable daily volume of transportation, etc. The selection of the number and carrying capacity of rolling stock as one of the main means of managing transport and production systems is substantiated. It is proposed to choose as a criterion for the effectiveness of the system's functioning - the minimum time for the transport to be idle while waiting for the performance of cargo operations. For this, the traditional formulas for calculating the required number of rolling stock on the transport route were transformed. Taking into account the above-mentioned features of the functioning of the transport and production system, the expressions for determining the necessary number of rolling stock were obtained, taking into account the criterion - the minimum time for the transport to be idle while waiting for the performance of cargo operations. This made it possible to carry out calculations with the simultaneous use of vehicles of different load capacities. The results of the calculations made it possible to determine the most rational option for using rolling stock of a certain carrying capacity. In order to assess the possible impact of unevenness, traffic schedules of vehicles on the transportation route were constructed. A statistical analysis of the duration of the load was carried out, which made it possible to determine that a decrease in the duration of idle time is observed in 40% of vehicle turnovers, of which only 3% of cases can lead to violations of the rhythmicity of the schedule. Thus, establishing a rational length of downtime of dump trucks while waiting for unloading is an important element of the organization of the transportation process.

Key words: metallurgical slag, quarry dump trucks, dumps, cargo operations, rolling stock, technological routes, idle time, carrying capacity, number of trips, speed of movement, schedule of movement.

Borys Sereda – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of Department of Automobiles and the automotive industry, e-mail: seredabp@ukr.net

Serhiy Turpak – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Transport Technologies, e-mail: sergeyturpak@gmail.com

Svitlana Romanyuk – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department «Automobiles and Transport Management», e-mail: romchuk.s85@gmail.com

Daryna Mukovska – PJSC «Zaporizhstal», e-mail: dariamykovska@gmail.com