

Ловська А. О.

ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ КОНТЕЙНЕРА ВІДКРИТОГО ТИПУ З ЕНЕРГОПОГЛИНАЛЬНИМИ СКЛАДОВИМИ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМ ПОРОМОМ

В статті висвітлено результати досліджень навантаженості контейнера при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі. Особливістю контейнера є те, що він виконаний відкритим та має випуклі стіни. Таке рішення дозволило збільшити його корисний об'єм на 8% у порівнянні з прототипом. Для зменшення динамічної навантаженості контейнера в експлуатації, зокрема при бортовій хитавиці залізничного порому, пропонується створення його каркаса із плоскоовальних труб, заповнених енергопоглинальним матеріалом. Для обґрунтування запропонованого рішення проведено математичне моделювання динамічної навантаженості контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом. Для цього сформовано математичну модель, яка характеризує рух контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при коливаннях залізничного порому. При цьому враховано, що контейнер встановлений на вагоні-платформі моделі 13-401, який закріплений на палубі залізничного порому "Герои Шипки". Рух залізничного порому здійснюється акваторією Чорного моря.

Розв'язок математичної моделі здійснено за допомогою метода Рунге-Кутта в середовищі програмного комплексу MathCad. Початкові переміщення та швидкості прийняті рівними нулю. Результати розрахунків встановили, що загальна величина прискорення, яке діє на контейнер складає $2,8 \text{ м/с}^2$ (0,28g). Отже, запропоноване удосконалення сприяє зниженню динамічної навантаженості контейнера майже на 5% у порівнянні з типовою конструкцією.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню безпеки перевезень поїздів комбінованого транспорту на залізничних поромах, а також створенню напрацювань щодо проектування конкурентоспроможних транспортних засобів комбінованих перевезень.

Ключові слова: контейнер, динамічна навантаженість, моделювання навантаженості, залізнично-поромні перевезення, комбіновані перевезення.

Актуальність дослідження. В умовах сучасного розвитку транспортної галузі утримання лідерських позицій залізничного транспорту викликає необхідність введення в експлуатацію комбінованих систем.

Відомо, що одними з найбільш успішних та поширених серед комбінованих систем транспорту є контейнерні перевезення. Для підвищення ефективності даного виду перевезень дістали розвиток перевезення контейнерних поїздів морем. В якості прикладу можна привести транспортний коридор "Новий шовковий шлях", складовою якого є два залізнично-поромні маршрути через акваторію Чорного та Каспійського морів.

Постановка проблеми. Перевезення контейнерних поїздів морем супроводжується дією на них навантажень, які не притаманні умовам експлуатації відносно рейкових колій. Така ситуація може сприяти порушенню безпеки руху комбінованих перевезень. Тому виникає необхідність створення заходів, спрямованих на зменшення навантаженості транспортних засобів при залізнично-поромних перевезеннях.

Теоретичний аналіз дослідження. Дослідження динамічної навантаженості несучої конструкції вагона при перевезенні на залізничному поромі висвітлено у роботах [1, 2]. Наведено математичні моделі, які описують коливання вагона з урахуванням різних схем взаємодії з палубою. Однак питання визначення динамічної навантаженості контейнерів у складі комбінованих поїздів при перевезенні на залізничному поромі в роботах не розглянуто.

Аналіз несучої конструкції вагона-платформи нового покоління проведено в публікації [3]. Особливістю вагона-платформи є можливість регулювання корисної довжини залежно від габаритів вантажу, який на ньому перевозять.

Конструкційні особливості довгобазового вагона-платформи висвітлено в роботі [4]. Особливістю вагона є відсутність хребтової балки за довжиною рами. Наведено результати розрахунку на міцність несучої конструкції вагона-платформи, які реалізовано в програмному комплексі ANSYS.

Важливо зазначити, що дані конструкції вагонів-платформ не забезпечують стійкості контейнерів при перевезенні на залізничному поромі.

Особливості визначення основних показників міцності складових несучої конструкції контейнера розглянуто в публікації [5]. Розрахунок проведено стосовно великовантажного контейнера типорозміру 1AA. Проведені дослідження дозволили сформулювати рекомендації щодо безпечної експлуатації контейнера. Визначенню навантаженості контейнерів у складі поїздів комбінованого транспорту при перевезенні на залізничних поромах авторами уваги не приділялося.

В публікації [6] наведено аналіз та особливості проектування несучих конструкцій контейнерів ISO. Розглянуто можливі схеми навантажень їх несучих конструкцій в експлуатації. Оцінено опір конструкції на дію зовнішніх навантажень. При цьому авторами не запропоновано рішень, спрямованих на покращення міцності контейнерів в експлуатації.

Дослідження динамічної навантаженості контейнерів при перевезенні на залізничному поромі проводиться у публікації [7]. Визначено допустимі кути крену при яких забезпечується стійкість контейнерів на вагонах-платформах. Однак в роботі не запропоновано заходів щодо удосконалення вагонів-платформ для безпеки перевезень контейнерів морем.

Мета статті. Метою статті є висвітлення результатів досліджень щодо навантаженості контейнера відкритого типу з енергопоглинальними складовими при перевезенні залізничним поромом.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети визначені такі завдання:

- запропонувати удосконалену конструкцію контейнера для зменшення його навантаженості при перевезенні залізничним поромом;
- провести математичне моделювання навантаженості контейнера при перевезенні залізничним поромом.

Викладення основного матеріалу дослідження. Для зменшення динамічної навантаженості контейнерів при перевезенні у складі комбінованих поїздів на залізничних поромках пропонується їх удосконалення. В якості прототипу обрано контейнер відкритого типу [8], (рис. 1).

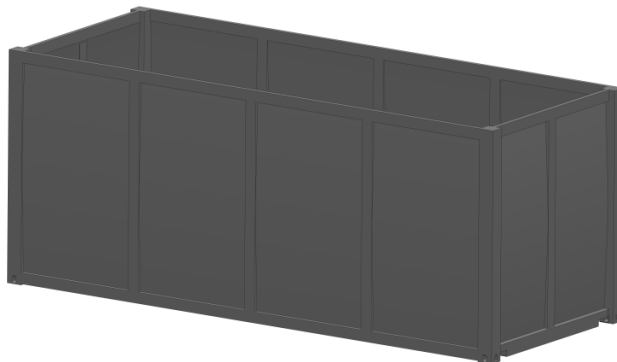


Рисунок 1 – Контейнер відкритого типу

Особливістю його конструкції є наявність випуклих стін, що дозволило збільшити корисний об'єм на 8% у порівнянні з прототипом. Для зменшення динамічної навантаженості контейнера при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі, зокрема при перевезенні на залізничному поромі в умовах бортової хитавиці, пропонується створення каркаса контейнера із плоскоовальних труб, заповнених енергопоглинальним матеріалом (рис. 2).

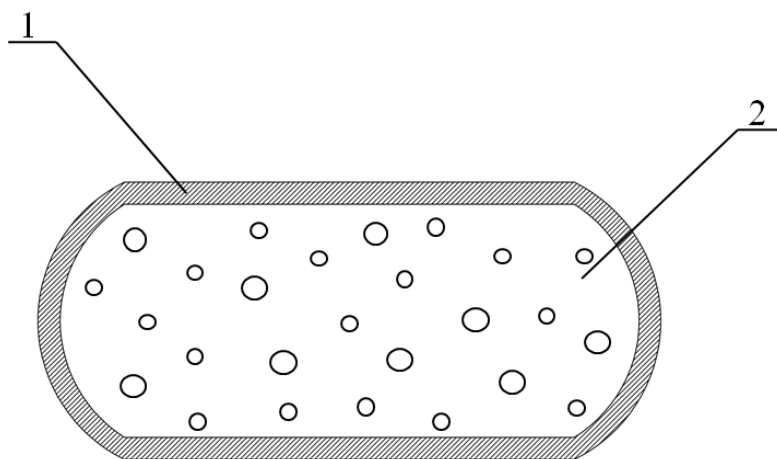


Рисунок 2 – Переріз вертикальної стійки контейнера

1 – плоскоовальна труба; 2 – енергопоглинальний матеріал

Для обґрунтування запропонованого рішення проведено математичне моделювання динамічної навантаженості контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом. Розрахункова схема наведена на рис. 3.

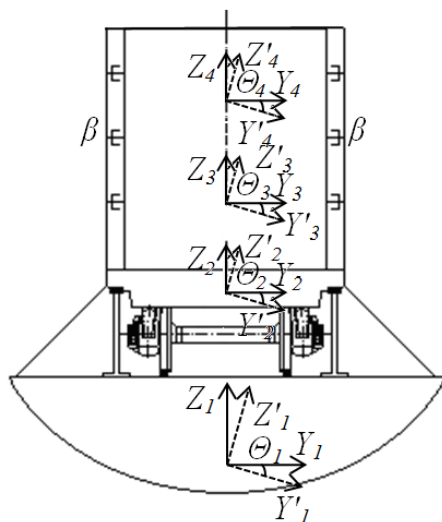


Рисунок 3 – Розрахункова схема вагона-платформи, завантаженого контейнерами при бортовій хитавиці залізничного порому

При цьому враховано, що закріплення вагона відносно палуби залізничного порому здійснюється за типовою схемою. Тобто для обезвантаження ресорного підвішування вагона-платформи використовуються чотири механічних упор-домкрати, що встановлюються під шворневі балки рами. Також використовуються вісім ланцюгових стяжок, які одним кінцем кріпляться до несучої конструкції вагона, а іншим за палубний рим. Під крайні в зчехах вагони встановлюються гальмівні башмаки. Також крайні в зчехах вагони взаємодіють з тупіковими упорами [9, 10].

При складанні математичної моделі враховано, що контейнер розміщений на вагоні-платформі моделі 13-401. Взаємодія вагона-платформи з контейнером здійснюється через фітинги та фітингові упори. В моделі враховано переміщення вантажу у контейнері при його коливаннях. При цьому вантаж розглянуто як однорідну середу.

Взаємодія вагона-платформи з палубою залізничного порому описувалася через момент сил. Таким же чином враховано взаємодію контейнера з вагоном-платформою та вантажу з контейнером.

Математична модель при цьому має вигляд:

$$\begin{cases} \left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q}_1 + \left(\Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q}_1 = p'_{зп} \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \\ I_{впф}^\theta \cdot \ddot{q}_2 = p'_{впф} \cdot \frac{h_{впф}}{2} + M_{впф}^\Pi + M_{впф}^K, \\ I_K^\theta \cdot \ddot{q}_3 = p'_K \cdot \frac{h_K}{2} + M_K^{впф} + M_K^B, \\ I_B^\theta \cdot \ddot{q}_4 = -\beta \cdot h_K \cdot \dot{q}_3 + M_B^K, \end{cases} \quad (1)$$

де $q_1 \approx \theta_n$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо повздожньої осі залізничного порому;

$q_2 \approx \theta_{впф}$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо повздожньої осі вагона-платформи;

$q_3 \approx \theta_k$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо повздожньої осі контейнера;

$q_4 \approx \theta_g$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо повздожньої осі вантажу.

для залізничного порому:

D – вагове водовитіснення;

B – ширина;

h – висота борта;

Λ_θ – коефіцієнт опору коливанням;

z_g – координата центру ваги;

$p'_{зп}$ – вітрове навантаження на надводну проекцію;

$F(t)$ – закон дії зусилля, яке збудує рух залізничного порому з вагонами, розміщеними на його палубах.

для вагона-платформи з контейнерами:

$I_{ВПФ}^{\theta}$ – момент інерції вагона-платформи;

$h_{ВПФ}$ – висота бокової поверхні вагона-платформи;

$p'_{ВПФ}$ – вітрове навантаження на бокову поверхню вагона-платформи;

$M_{ВПФ}^{\Pi}$ – момент сил, що виникає між вагоном-платформою та палубою залізничного порому при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі;

$M_{ВПФ}^K$ – момент сил, що виникає між вагоном-платформою та контейнерами при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі;

I_K^{θ} – момент інерції контейнера;

h_K – висота бокової поверхні контейнера;

p'_K – вітрове навантаження на бокову поверхню контейнера;

$M_K^{ВПФ}$ – момент сил, що виникає між контейнером та вагоном-платформою при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі;

M_K^B – момент сил, що виникає між контейнером та вантажем при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі;

I_B^{θ} – момент інерції вантажу;

M_B^K – момент сил, що виникає між вантажем та контейнером при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі;

β – коефіцієнт в'язкого опору між несучою конструкцією контейнера та насипним вантажем.

При складанні моделі до уваги не прийнято ударну дію морських хвиль на корпус залізничного порому. Рух хвилі описувався у вигляді трохоїдального закону [9].

При визначенні моментів сил, що виникають між вагоном-платформою та палубою, між вагоном-платформою та контейнером, між контейнером та вантажем до уваги взяті горизонтальні складові ваги бруutto, відповідно, вагона-платформи, контейнера та вантажу.

Розрахунки проведені стосовно залізничного порому “Герои Шипки”, що рухається акваторією Чорного моря.

Розв'язок системи диференціальних рівнянь (1) здійснено за допомогою метода Рунге-Кутта в середовищі програмного комплексу MathCad [11, 12]. Початкові переміщення та швидкості прийнято рівними нулю.

На підставі проведених розрахунків встановлено, що найбільші величини прискорень виникають при курсових кутах хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому $\chi = 60^\circ$ та $\chi = 120^\circ$.

Максимальне прискорення контейнера склало близько $0,73 \text{ м/с}^2$ (рис. 4). Загальна величина прискорення з урахуванням горизонтальної складової прискорення вільного падіння, обумовленої кутом крену залізничного порому ($\theta = 12,2^\circ$) дорівнює $2,8 \text{ м/с}^2$ ($0,28g$).

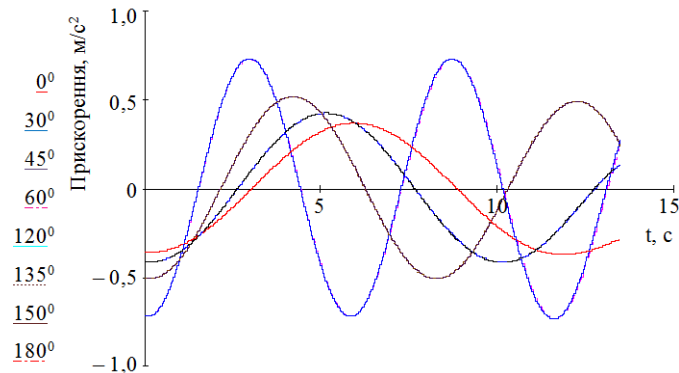


Рисунок 4 – Прискорення, які діють на контейнер, розміщений на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом

При цьому коефіцієнт в'язкого опору енергопоглинального матеріалу в стійках контейнеру не повинен перевищувати $0,5 \text{ кН} \cdot \text{с/м}$.

Отже, запропоноване удосконалення контейнера сприяє зниженню його динамічної навантаженості майже на 5% у порівнянні з типовою конструкцією.

Висновки:

1. Запропоновано удосконалену конструкцію контейнера, яка сприяє зменшенню його навантаженості при перевезенні залізничним поромом. Особливістю удосконаленої конструкції є наявність випуклих стін, що дозволило збільшити корисний об'єм на 8% у порівнянні з прототипом. Для зменшення динамічної навантаженості контейнера при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі, зокрема при перевезенні на залізничному пором в умовах бортової хитавиці, пропонується створення каркаса контейнера із плоскоовальних труб, заповнених енергопоглинальним матеріалом.

2. Проведено математичне моделювання навантаженості контейнера при перевезенні залізничним поромом. При цьому загальна величина прискорення, яке діє на контейнер склала $2,8 \text{ м/с}^2$ ($0,28g$). Запропоноване удосконалення контейнера сприяє зниженню його динамічної навантаженості майже на 5% у порівнянні з типовою конструкцією.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню безпеки перевезень поїздів комбінованого транспорту на залізничних поромках, а також створенню напрацювань щодо проектування конкурентоспроможних транспортних засобів комбінованих перевезень.

Л і т е р а т у р а

1. Alyona Lovska. Improvement of the bearing structure of the wagon-platform of the articulated type to ensure the reliability of the fixing on the deck of the railway ferry. Alyona Lovska, Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Tomas Lack. MATEC Web of Conferences “XXIII Polish-Slovak Scientific Conference on Machine Modelling and Simulations (MMS 2018)”. 2018. Vol. 254.
2. Ловська А. О. Дослідження випадкових коливальних процесів кузова напіввагону при перевезенні залізничним поромом в умовах хвилювання моря. Збірник наукових праць УкрДАЗТ. 2014. Вип. 149. С. 67 – 71.
3. WBN Waggonbau Niesky GmbH. Developing a flexible platform of freight wagons. Niesky: WBN Waggonbau Niesky GmbH. 2016.
4. Šťastniak P. Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform. Šťastniak P., Kurčík P., Pavlík A. MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 235. P. 1–5. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823500030>
5. Arkadiusz Rzeczycki. Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load. Arkadiusz Rzeczycki, Bogusz Wisnicki. Solid State Phenomena. 2016. Vol. 252. P. 81 – 90.
6. Kevin Giriunas. Evaluation, modeling, and analysis of shipping containerbuilding structures. Kevin Giriunas, Halil Sezen, Rebecca B. Dupaix. Eng. Structures. 2012. Vol. 43. P. 48 – 57.
7. Fomin Oleksij. Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Píštěk Václav, Kučera Pavel. MM SCIENCE JOURNAL. 2020. Martch. P. 3728 – 3733.
8. Oleksij Fomin. Determination of the Loading of a Flat Rack Container during Operating Modes. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Glib Vatulia, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko. Applied Science. 2021. Vol. 11, 7623. <https://doi.org/10.3390/app11167623>
9. Ловська А. О. Визначення зусиль розпору насипного вантажу на стіни кузова напіввагону при перевезенні залізничним поромом. Збірник наукових праць УкрДАЗТ. 2014. Вип. 143. С. 54 – 57.
10. Наставление по креплению груза для т/х “Петровск” ПР. № 002CNF001 – ЛМПЛ – 805. Офіц. изд. Одесса: МИБ, 2005. 52 с.
11. Сяєв А. В. Вступ до системи MathCad / А. В. Сяєв. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. ун-ту. 2004. – 108 с.
12. Богач І. В. Чисельні методи розв’язання диференціальних рівнянь засобами MathCad / Богач І. В., Краковецький О. Ю., Килик Л. В. – Вінниця: ВНТУ. 2020. – 106 с.

References

1. Alyona Lovska. (2018). Improvement of the bearing structure of the wagon-platform of the articulated type to ensure the reliability of the fixing on the deck of the railway ferry / Alyona Lovska, Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Tomas Lack // MATEC Web of Conferences “XXIII Polish-Slovak Scientific Conference on Machine Modelling and Simulations (MMS 2018)”. – Vol. 254.
2. Lovska A. O. (2014). Doslidzhennya vipadkovih kolivanih procesiv kuzova napivvagonu pri perevezenni zaliznichnim poromom v umovah hvilyuvannya morya / A. O. Lovska // Zbirnik naukovih prac UkrDAZT. –Vip. 149. С. 67 – 71.
3. (2016). WBN Waggonbau Niesky GmbH. Developing a flexible platform of freight wagons. Niesky: WBN Waggonbau Niesky GmbH.
4. Šťastniak P. (2018). Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform / Šťastniak P., Kurčík P., Pavlík A. // MATEC Web of Conferences. – Vol. 235. P. 1–5. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823500030>
5. Arkadiusz Rzeczycki. (2016). Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load / Arkadiusz Rzeczycki, Bogusz Wisnicki // Solid State Phenomena. – Vol. 252. P. 81 – 90.
6. Kevin Giriunas. (2012). Evaluation, modeling, and analysis of shipping containerbuilding structures / Kevin Giriunas, Halil Sezen, Rebecca B. Dupaix // Eng. Structures. – Vol. 43. P. 48 – 57.
7. Fomin Oleksij. (2020). Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry / Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Píštěk Václav, Kučera Pavel // MM SCIENCE JOURNAL. – Martch. P. 3728 – 3733.
8. Oleksij Fomin. (2021). Determination of the Loading of a Flat Rack Container during Operating Modes / Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Glib Vatulia, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko // Applied Science. – Vol. 11, 7623. <https://doi.org/10.3390/app11167623>
9. Lovska A. O. (2014). Vznachennya zusil rozporu nasipnogo vantazhu na stini kuzova napivvagonu pri perevezenni zaliznichnim poromom / A. O. Lovska // Zbirnik naukovih prac UkrDAZT. – Vip. 143. S. 54 – 57.
10. Nastavlenie po krepreniyu gruzu dlya t/h “Petrovsk” PR. № 002SNF001 – LMPL – 805. Ofic. izd. Odessa: MIB, 2005. – 52 s.
11. Syasyev A. V. Vstup do sistemi MathCad. Dnipropetrovsk: Vid-vo Dnipropetr. un-tu. 2004. – 108 s.
12. Bogach I. V., Krakoveckij O. Yu., Kilik L. V. Chiselni metodi rozv’yazannya diferencialnih rivnyan zasobami MathCad. – Vinnicya: VNTU. 2020. – 106 s.

The article reflects the results of the study of the container load when transported as part of a combined train on the railway ferry. The peculiarity of the container is that it is made open and has convex walls. This solution allowed to increase useful volume by 8% compared with the prototype. For decreasing dynamic load of container in operation, in particular with onboard rolling of a railway ferry, it is proposed to make its frame out of plane-oval pipes, filled with energy-absorbing material. In order to justify the proposed solution, mathematical modeling of dynamic loading of container placed on flatcar during transportation by railway ferry is done.

For this purpose, a mathematical model, characterizing the motion of the container placed on the flat wagon during the oscillation of the railway ferry, has been formed. It is taken into account that the container is placed on the flat wagon (model 13-401), which is fixed on the deck of railway ferry "Heroes of Shipka". The movement of the railway ferry is carried out by the water area of the Black Sea.

The solution to the mathematical model was carried out using the Runge-Kutta method in the MathCad software environment. The initial displacements and velocities were assumed to be zero. The calculation results established that the total value of the acceleration acting on the container is 2.8 m/s^2 (0.28g). Consequently, the proposed improvement contributes to reducing the dynamic loading of the container by almost 5% compared with the prototype.

The conducted research will contribute to improving the safety of combined transport trains on railway ferries, as well as the creation of developments for the design of competitive combined transport vehicles.

Key words: *container, dynamic loading, loading modeling, rail-ferry transport, combined transport.*

Ловська А. О. – д.т.н., професор кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту.