
УДК 629.463.65

**УДОСКОНАЛЕННЯ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ З МЕТОЮ
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Канд.техн. наук А. О. Ловська, Б. В. Ігнат'єв, А. О. Бабкін

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ВАГОНА-ПЛАТФОРМЫ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Канд.техн. наук А. А. Ловская, Б. В. Игнатъев, А. О. Бабкин

IMPROVEMENTS IN SUPPORTING STRUCTURE OF FLAT-WAGON FOCUSED ON HIGHER OPERATIONAL EFFICIENCY

Candidate of technical sciences A. A. Lovskaya, B. V. Ignatev, A. O. Babkin

У статті наведено результати досліджень міцності несучої конструкції вагона-платформи при експлуатаційних режимах навантаження. Виявлено запаси міцності основних елементів несучої конструкції та запропоновано заходи щодо їх оптимізації за критерієм зменшення металоемності. Результати проведених розрахунків на міцність удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks дозволили зробити висновок про доцільність прийнятих рішень.

Ключові слова: вагон-платформа, несуча конструкція, оптимізація, напружено-деформований стан, міцність.

В статье представлены результаты исследования прочности несущей конструкции вагона-платформы при эксплуатационных режимах нагружения. Определены запасы прочности основных элементов несущей конструкции и предложены мероприятия по их оптимизации по критерию уменьшения металлоемкости. Результаты проведенных расчетов на прочность усовершенствованной несущей конструкции вагона-платформы в среде программного обеспечения CosmosWorks позволили сделать вывод о целесообразности принятых решений.

Ключевые слова: вагон-платформа, несущая конструкция, оптимизация, напряженно-деформированное состояние, прочность.

The article presents the results of research into stability of the supporting structure of a 13-4012 model flat-wagon for transportation of wheel sets, track-type equipment, freight in case packing, containers, metal structures, long-length and industrial goods which do not require covering and protection from weather effects in operational loading modes. The structural factors of safety for basic elements of the supporting structure have been defined and measures on their optimization by criterion of lower metal consumption have been proposed. Also the authors propose to replace the basic longitudinal beam of a flat-wagon (an H-beam in a standard structure) for the U-profile beam enforced with shields. It will allow reducing the mass of spring-suspended parts of the wagon and also reduce the cost of manufacturing flat-wagon of new designs.

So that to ground the solution proposed the article presents calculation of the improved flat-wagon structure based on computer stability stimulation applying the finite-element method. The results of the stability calculations have made it possible to conclude about usefulness of the decisions taken.

On the base of the research conducted one can conclude that the measures regarding improvements in the supporting structure of a flat-wagon allow decreasing the material consumption maintaining the required stability and increasing operational efficiency in intermodal container transportation.

Keywords: flat-wagon, bearing construction, optimization, strength-deformed state, strength.

Вступ. Підвищення об'ємів перевезень вантажів через територію України, яка

є ланкою найважливіших міжнародних транспортних коридорів, зумовило створення та введення в експлуатацію комбінованих транспортних систем.

Відомо, що одним з найбільш затребуваних видів рухомого складу при комбінованих перевезеннях є вагони-платформи. Для забезпечення ефективності перевізного процесу необхідним є розроблення та впровадження в експлуатацію вагонів-платформ нового покоління з покращеними техніко-економічними показниками.

Відповідно до постанови КМУ № 1390-2009-п від 16.12.2009 р. “Про затвердження Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010 – 2019 роки”, метою якої є розвиток конкурентного середовища на ринку залізничних послуг, підвищення ефективності його функціонування, а також задоволення потреб національної економіки та населення в перевезеннях, необхідним є створення рухомого складу нового покоління з підвищеними техніко-економічними показниками, а також комбінованих систем транспорту, що забезпечить підвищення об’ємів перевезень вантажів через міжнародні транспортні коридори.

Недостатній рівень поповнення вагонного парку ПАТ «Укрзалізниця» за останні роки зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію нових технічних рішень щодо удосконалення несучих конструкцій кузовів вагонів для здійснення потреб у перевезеннях завданої номенклатури вантажів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження міцності вагона-платформи нового покоління з поворотною рамою для перевезення контейнерів і завантаження-розвантаження їх за системою ACTS наведені в роботі [1]. Розрахунок на міцність несучої конструкції вагона-платформи при навантаженні її контейнерами проведено за методом скінчених елементів у середовищі

програмного забезпечення Nastran.

Визначення показників міцності вагона-платформи для перевезення контейнерів і завантаження-розвантаження їх за системою ACTS проводиться в роботі [2]. При цьому розрахунок на міцність проведено у статиці в середовищі програмного забезпечення Nastran. Чисельні значення розрахункових навантажень, які діють на вагон-платформу, прийняті відповідно до нормативів PNEN12663 та BN – 77/3532 – 40.

Дослідження динаміки залізничного вагона з відкритою завантажувальною платформою наведені в роботі [3]. Розрахунок проведено в середовищі програмного забезпечення MSC Adams. Дослідження стійкості проти перекидання вагона здійснювалося при його вписуванні у криву радіусом 250 м з урахуванням різної швидкості руху.

Слід зазначити, що в роботах [1-3] для підвищення ефективності контейнерних перевезень пропонується створення вагонів-платформ нового покоління, але це вимагає значних капітальних вкладень. Тому більш доцільним є переобладнання існуючих конструкцій вагонів-платформ під контейнерні перевезення, як невід’ємної складової транспортної логістики України.

Перспективи створення вагонів нового покоління з застосуванням нетипових несучих елементів у їх конструкціях наведені в роботі [4]. Дослідження проведено стосовно універсального напіввагона. При цьому не приділяється уваги питанням оптимізації несучої конструкції вагона-платформи, як найбільш поширеного типу вагона при комбінованих перевезеннях.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою досліджень, які наведені в статті, є удосконалення несучої конструкції вагона-платформи з метою забезпечення його міцності в експлуатації. Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

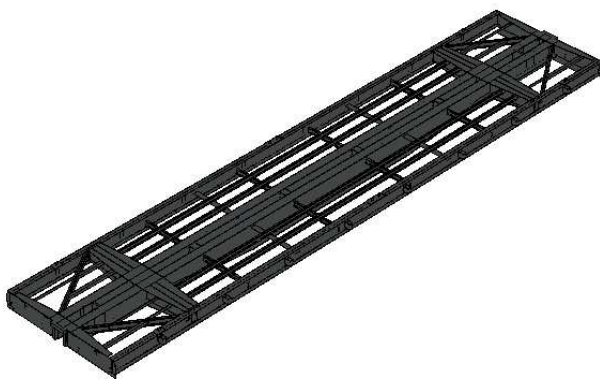
1. Провести дослідження міцності несучої конструкції вагона-платформи моделі 13-4012 в умовах експлуатаційних режимів навантажень.

2. Провести дослідження щодо можливості оптимізації елементів несучої конструкції вагона-платформи моделі 13-4012.

3. Розробити удосконалену несучу конструкцію вагона-платформи та провести дослідження міцності його несучої конструкції в умовах експлуатаційних режимів навантажень.

Основна частина дослідження. З метою дослідження міцності несучої конструкції вагона-платформи побудовано його просторову модель (рис. 1, а) у середовищі програмного забезпечення SolidWorks (версія 2015). Для виявлення зон несучої конструкції вагона-платформи, які зазнають найбільших напружень в експлуатації, проведено розрахунок на міцність за методом скінчених елементів у

а)



середовищі програмного забезпечення CosmosWorks [5]. При визначенні кількості елементів сітки застосовано графо-аналітичний метод. У якості скінчених елементів застосовувалися десятивузлові ізопараметричні тетраедри.

Кількість елементів сітки при складанні скінченоелементної моделі склала 464673, вузлів – 152074. При цьому максимальний розмір елемента склав 160 мм, мінімальний – 32 мм, максимальне співвідношення боків – 2103,8, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 13,3, більше 10 – 25,2. Мінімальна кількість елементів у колі склала 9, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,7. При складанні моделі не враховано зварні шви в зонах взаємодії окремих елементів конструкції кузову між собою. У якості матеріалу несучої конструкції вагона-платформи застосована сталь марки 09Г2С.

б)

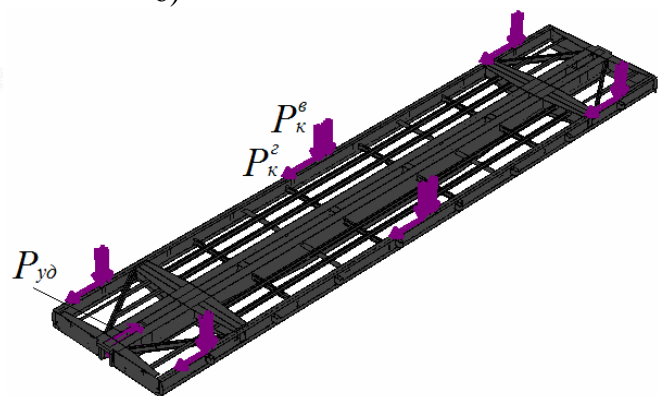


Рис. 1. Несуча конструкція вагона-платформи моделі 13-4012 з урахуванням заходів щодо її удосконалення: а – просторова модель; б – модель міцності

Модель міцності несучої конструкції вагона-платформи з урахуванням навантажень, які діють на нього від контейнерів типорозміру 1СС при розрахунковому режимі, наведена на рис. 1, б. Ударне навантаження $P_{уд}$ при цьому прикладено до вертикальної поверхні заднього упору автозчепу та дорівнює 3,5 МН [6].

У вертикальній площині на фітинговий упор діє навантаження $P_{к}^6$ від ваги бруто контейнера, а в горизонтальній – реакція $P_{к}^e$, що виникає між фітингом контейнера та фітинговим упором вагона-платформи при ударі в задній упор автозчепу.

Проведені розрахунки дозволили зробити висновок, що найбільша величина

напружень виникає при I розрахунковому режимі (удар), зосереджена в зоні взаємодії шворневої балки з хребтовою, і складає близько 330 МПа (табл. 1), що нижче за напруження плинності матеріалу конструкції на 4 % [6]. Максимальні переміщення в конструкції виникають у середній частині основних повздовжніх балок рами та складають – 17,3 мм, деформації в конструкції становлять $2,68 \cdot 10^{-3}$.

З метою зменшення матеріалоемності несучої конструкції вагона-платформи пропонується проведення заходів щодо її оптимізації. Розрахунок на міцність типової несучої конструкції вагона-платформи показав, що основні повздовжні балки рами при дії максимальних навантажень на раму мають значний запас міцності – близько 2.

Таблиця 1
Показники міцності несучої конструкції вагона-платформи при експлуатаційних режимах навантаження

Показник	Режим навантаження				
	удар (I р.р.)	стиснення (I р.р.)	ривок-розтягнення (I р.р.)	удар-стиснення (III р.р.)	ривок-розтягнення (III р.р.)
Напруження, МПа	328,7	292,5	277,6	203	181
Переміщення у вузлах, мм	17,3	17,1	12,8	15,9	13,5
Деформації	$2,68 \cdot 10^{-3}$	$2,64 \cdot 10^{-3}$	$2,76 \cdot 10^{-3}$	$4,66 \cdot 10^{-3}$	$3,12 \cdot 10^{-3}$

Відомо, що при ударі значення запасу міцності конструкції приймається рівним 1. Тому здійснено підбір більш оптимального перерізу основної повздовжньої балки рами з точки зору забезпечення її мінімальної матеріалоемності. У якості розрахункового використано метод оптимізації за резервом міцності.

Цільова функція має вигляд

$$M_{впф} \rightarrow \min .$$

Обмеження оптимізаційної моделі:

1. Максимальні еквівалентні напруження повинні бути меншими за допустимі (у якості допустимих прийнято

напруження плинності матеріалу $\sigma_{пл}$), тобто $\sigma_{екв} \leq \sigma_{пл}$.

2. Геометрія обраного профілю бокової повздовжньої балки вагона-платформи повинна забезпечувати можливість розміщення на ній фітінгових упорів для кріплення контейнерів.

Момент інерції двотавра №30, з якого складається основна повздовжня балка рами вагона-платформи типової конструкції, складає $I_x = 574,65 \text{ см}^4$ та $I_y = 9672,95 \text{ см}^4$, звідси момент опору дорівнює $W_x = 85,13 \text{ см}^3$ та $W_y = 644,86 \text{ см}^3$.

3. Урахуванням максимальних еквівалентних напружень в основній

повздожній балці та запасу її міцності встановлено, що оптимальним буде переріз з моментом опору 121 см^3 .

Проведений аналіз типових прокатних профілів за сортаментом сталей дозволив зробити висновок, що найбільш оптимальним є застосування в якості

профілю основної повздожньої балки – швелера №18, підсиленого вертикальними накладками. Просторова модель несучої конструкції вагона-платформи з урахуванням заходів щодо його удосконалення наведена на рис. 2, а.

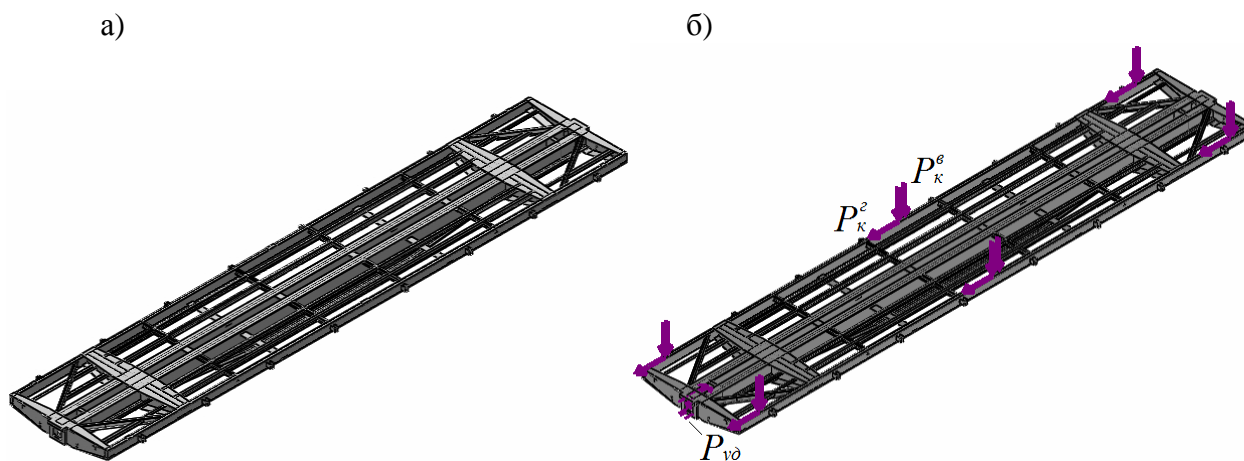


Рис. 2. Несуча конструкція вагона-платформи з урахуванням заходів щодо його удосконалення: а – просторова модель; б – модель міцності

З метою дослідження міцності несучої конструкції вагона-платформи з урахуванням заходів щодо його удосконалення проведено розрахунок за методом скінчених елементів. Кількість елементів сітки склала 346559, вузлів – 119284. При цьому максимальний розмір елемента склав 140 мм, мінімальний – 28 мм, максимальне співвідношення боків – 814,76, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 14,5, більше 10 – 25,9. Мінімальна кількість елементів у колі склала 14, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,9.

Модель міцності несучої конструкції вагона-платформи з урахуванням заходів щодо його удосконалення наведена на рис. 2, б. Позначення сил у моделі аналогічно зазначеним вище для розрахунку типової конструкції вагона-

платформи. Результати розрахунку несучої конструкції вагона-платформи удосконаленої конструкції при I розрахунковому режимі (удар) наведені на рис. 3, а чисельні значення показників міцності при основних режимах навантаження – у табл. 2.

З табл. 2 видно, що найбільша величина напружень виникає при I розрахунковому режимі (удар), зосереджена в зоні взаємодії шворневої балки з хребтовою, і складає близько 330 МПа (рис. 3, а), але не перевищує допустимі, максимальні переміщення в конструкції виникають у середній частині основних повздожніх балок рами та складають – 18,3 мм (рис. 3, б), деформації в конструкції становлять $3,38 \cdot 10^{-3}$ (рис. 3, в).

Таблиця 2

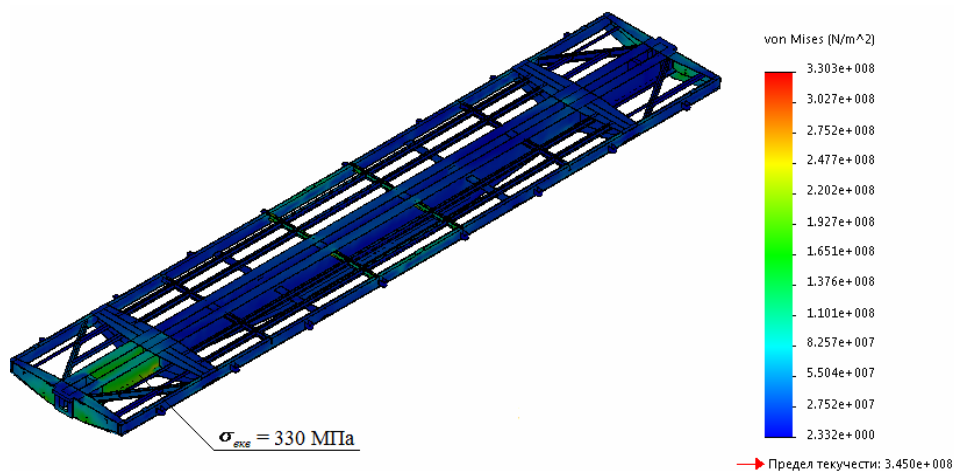
Показники міцності несучої конструкції вагона-платформи при експлуатаційних режимах навантаження

Показник	Режим навантаження				
	удар (I р.р.)	стиснення (I р.р.)	ривок-розтягнення (I р.р.)	удар-стиснення (III р.р.)	ривок-розтягнення (III р.р.)
Напруження, МПа	330	303	324,5	328,8	326,1
Переміщення у вузлах, мм	18,3	18	14,6	17	15,4
Деформації	$3,38 \cdot 10^{-3}$	$3,24 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$3,22 \cdot 10^{-3}$	$3,22 \cdot 10^{-3}$

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що запропоновані заходи щодо удосконалення несучої конструкції вагона-платформи

дозволять зменшити його матеріалоємність більш ніж на 20 % порівняно з типовою конструкцією при забезпеченні умов міцності, а також підвищити ефективність експлуатації при комбінованих контейнерних перевезеннях.

а)



б)

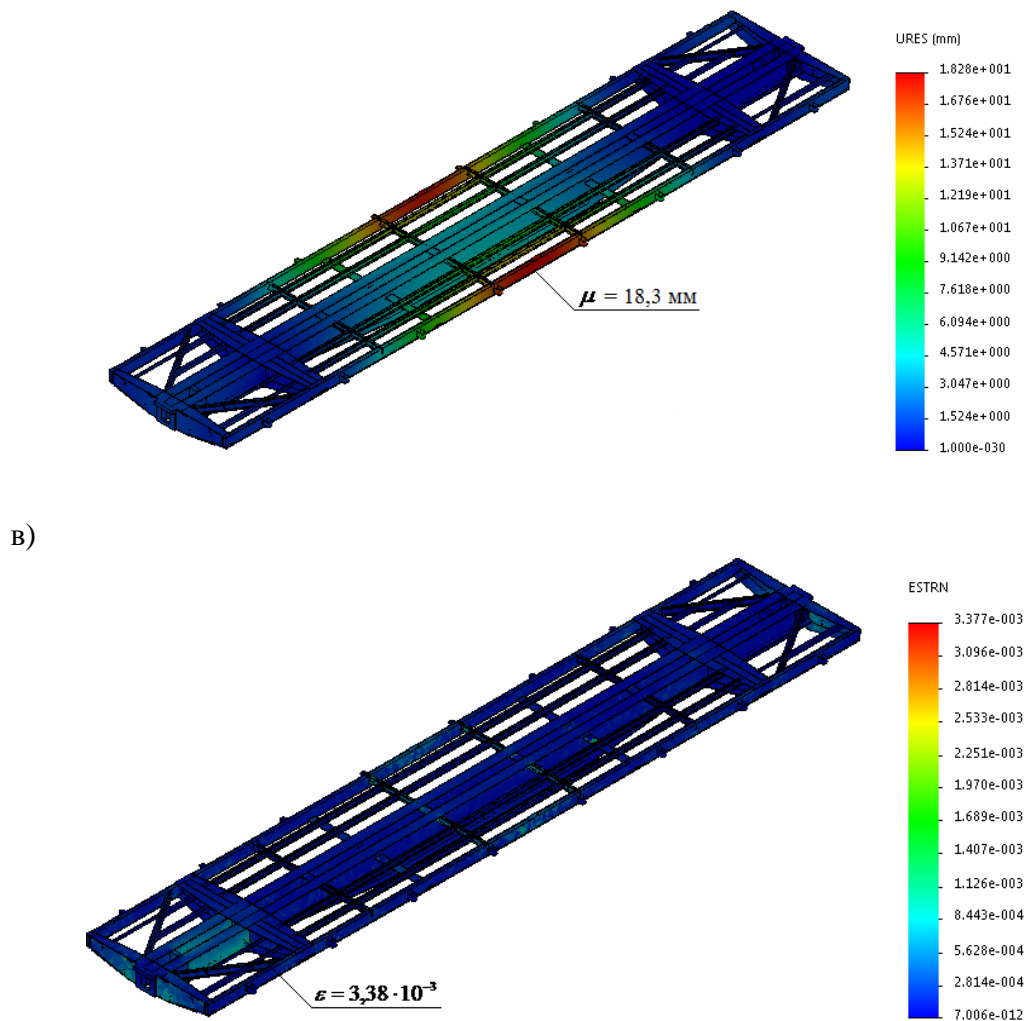


Рис. 3. Результати розрахунку на міцність несучої конструкції вагона-платформи при I розрахунковому режимі (удар) з урахуванням заходів щодо його удосконалення:
а – напружений стан; б – переміщення у вузлах; в – деформації

Список використаних джерел

1. Karol Chlus. Dynamic analysis of railway platform chassis model [Text] / Karol Chlus, Wieslaw Krason // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2011. – Vol. 18, No. 2. – P. 93-100.
2. Karol Chlus. Numerical standard tests of railway carriage platform [Text] / Karol Chlus, Wieslaw Krason // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2012. – Vol. 19, No. 3. – P. 59-64.
3. Tadeusz, Niezgoda. Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software [Text] / Tadeusz Niezgoda, Wieslaw Krason, Michal Stankiewicz // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2012. – Vol. 19, No. 4. – P. 495 – 502.
4. Kelrykh, M. B. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas [Text] / M.B. Kelrykh, O.V. Fomin // Metallurgical & Mining Industry. – 2014. – №. 6.
5. Алямовский, А. А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Инженерный анализ методом конечных элементов [Текст] / А. А. Алямовский. – М.: ДМК. – 2007. – 784 с., ил. (Сер. Проектирование).

6. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

Ловська Альона Олександрівна канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-35. E-mail.: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com.

Ігнат'єв Богдан Вікторович, студент-магістрант кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту.

Бабкін Андрій Олександрович, студент-магістрант кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту.

Lovskaya Alyona Aleksandrovna candidate of technical sciences, associate Professor, chair Wagons, The Ukrainian state university of railway transport tel.: (057)730-10-35

Ignat'ev Bogdan Viktorovich student-master, chair wagons, The Ukrainian state university of railway transport

Babkin Andriy Oleksandrovich student-master, chair wagons, The Ukrainian state university of railway transport.

Стаття прийнята 19.09.2016 р.