

УДК 629.423

*Канд. техн. наук Воропай В.С.
Аспирант Коваленко В.В
Студент Лебедєв В.С.*

О НАПРЯЖЁННОМ СОСТОЯНИИ КРЫШЕК ЛЮКОВ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПОЛУВАГОНОВ

Ключевые слова: универсальный полувагон, кузов, крышка люка, испытания, механические напряжения, допускаемые напряжения, тензорезисторы, надёжность, ресурс.

Постановка проблемы. В комплексе масштабных и сложных задач, решаемых на железнодорожном транспорте, одним из главных направлений остается обеспечение надежности грузовых вагонов. Поиск решений для повышения надежности и обеспече-

ния долговечности эксплуатации этого вида подвижного состава – приоритетное направление для производства и науки, так как все возрастающая интенсивность эксплуатации таких вагонов в условиях рыночной экономики обуславливает максимально возможное использование их ресурса.

Парк грузовых вагонов транспортных компаний Украины в большинстве своем состоит из полувагонов. Наиболее массовыми являются маршруты, на которых эксплуатируются универсальные полувагоны. Такие полувагоны обеспечивают транспортировку щебня и гравия, пустой породы (на отвалы), угля, бревен, пиломатериалов и т. п. Другие виды полувагонов в основном используются на промышленных предприятиях для транспортировки отходов промышленности, например, в виде стального лома. Примерная структура инвентарного парка грузовых вагонов ПАО «Укрзалізниця» показана на рисунке 1.

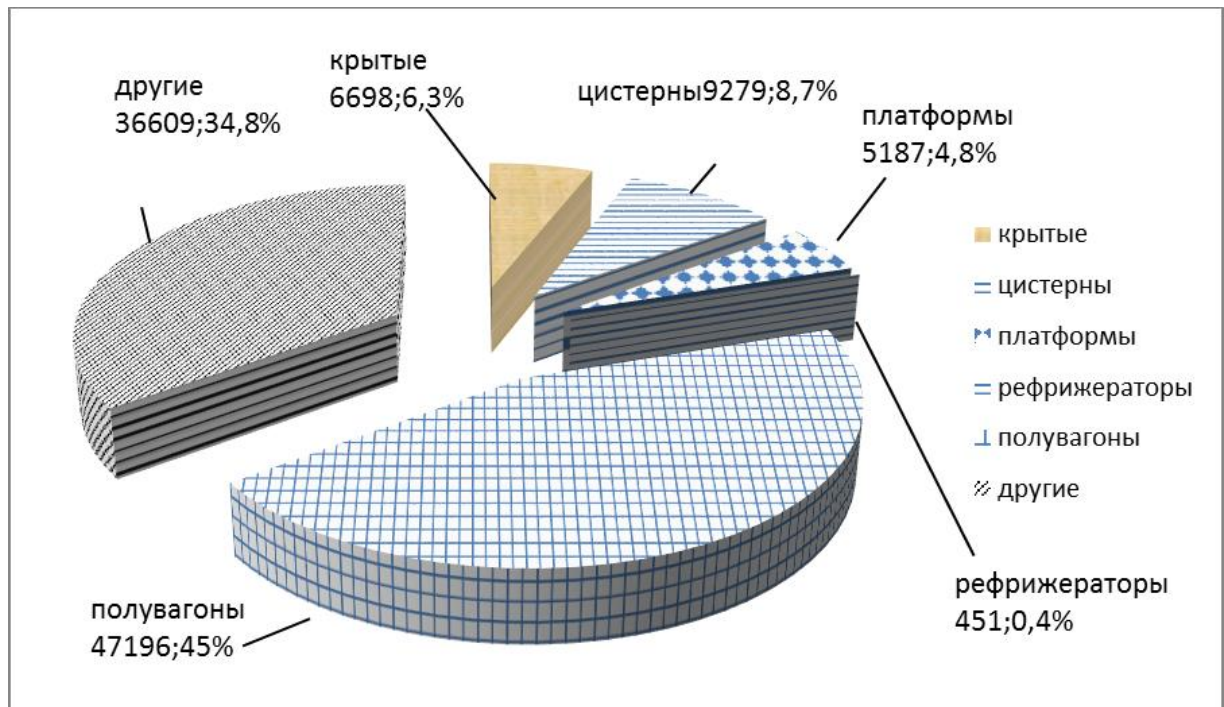


Рис. 1 –Инвентарный парк грузовых вагонов ПАО «Укрзалізниця» в 2016 году

Полувагон представляет собой сложный технический объект, который эксплуатируется в самых различных, зачастую, весьма жестких условиях. При этом учесть все особенности условий эксплуатации на стадии проектирования не всегда представляется возможным. В связи с этим существенная часть полувагонов рабочего парка имеет повреждения, в некоторых случаях приводящие к их отказам.

Проведенный анализ позволил выявить наиболее подверженные возникновению дефекты и неисправности элементов несущей конструкции полувагонов. К основным неисправностям полувагонов, по данным их обследования, относятся повреждения автотормозного и автосцепного оборудования, элементов кузова и рамы вагонов, а также крышек выгрузочных люков. Такие неисправности могут возникать по нескольким причинам [1, 2, 3]:

- превышение скорости соударения вагонов при маневровых работах и прохождении кривых;
- аварийные ситуации;
- нарушение правил эксплуатации при погрузке и выгрузке сыпучих грузов.

Поэтому весьма важным является оценка прочности элементов полувагонов. Для этого необходимо проводить определённые научно-исследовательские работы и испытания.

Анализ выполненных исследований и публикаций.

Большой вклад в развитие и создание прогрессивных конструкций полувагонов внесли коллективы научно-исследовательских организаций, высших учебных заведений и вагоностроительных заводов, в том числе: Украинского научно-исследовательского института вагоностроения, Днепропетровского национального и Украинского государственных университетов железнодорожного транспорта, Государственного экономико-технологического университета транспорта, филиала «Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт железнодорожного транспорта» ПАО «Укрзалізниця», Московского и Петербургского университетов путей сообщения, Белорусского государственного университета транспорта, Брянского государственного техниче-

ского университета, Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, вагоностроительных заводов (Крюковского, Уральского, «Азовмаша», «Днепровагонмаша» и др.).

Теоретическими основами расчетов, проектирования и испытаний грузовых вагонов являются исследования П.С. Анисимова, Е.П. Блохина, С.В. Вершинского, В.Н. Котуранова, Л.Н. Никольского, Е.Н. Никольского, В.Ф. Ушкалова, В.Д. Хусидова, Л.А. Шадура, А.А. Битюцкого, Г.И. Богомаза, Ю.П. Бороненко, В.М. Бубнова, Н.И. Горбунова, А.П. Горбенко, С.Г. Грищенко, А.В. Донченко, Ю.В. Демина, М.Б. Кельриха, В.В. Кобищанова, В.Ф. Лапшина, И.Э. Мартынова, С.В. Мямлина, А.Д. Кочнова, А.В. Пигунова, В.В. Пигунова, В.С. Плоткина, А.Л. Пулария, А.В. Пулято, А.А. Радзиховского, Г.В. Рейдемейстера, О.М. Савчука, А.Г. Рейдемейстера, А.В. Смольянинова, М.М. Соколова, А.М. Соколова, А.Ю. Черняк и др. [4, 5, 6, 7].

Целью работы, как научного исследования, является оценка напряженного состояния одного из наиболее часто повреждаемых узлов - крышек разгрузочных люков полувагонов, путем проведения их натурных испытаний.

Изложение основного материала.

В условиях эксплуатации крышки люков полувагонов подвергаются сложному спектру нагрузок, возникающих в процессе погрузки, перевозки и выгрузки грузов. Учитывая сложность анализа указанных факторов, особенно при действии ударных нагрузок при погрузке и выгрузке грузов, на первом этапе решения задачи оценки прочности и надежности различных конструкций крышек люков полувагонов целесообразно провести их натурные испытания, с учётом требований, предусмотренных действующими в настоящее время нормативными документами [8,9,10].

Методика натурных испытаний крышек люков полувагонов включает в себя следующее:

- описание и характеристики объекта испытаний;
- цель и задачи испытаний;
- условия проведения испытаний;

- перечень подготовительных работ перед проведением испытаний;
- порядок проведения статических испытаний на прочность;
- испытания на прочность от действия падающего груза.

Объектом испытаний является крышка разгрузочного люка (рис. 2) полувагона.

Она состоит из листового штампованного профиля, изготовленного из низколегированной стали толщиной 5 мм, с шестью поперечными гофрами. По краям лист усилен стальным каркасом из продольных и поперечных обвязок П-образного профиля (изготовленного из швеллера, усиленного накладкой из уголка), балок и косынок. Для придания жесткости крышке люка в средней части установлен корытчатый профиль, а со стороны петель - усиливающая планка толщиной 4 мм. К листу с одной стороны приклепаны петли, а с другой – приварены запорные кронштейны, выполненные из уголкового профиля. В закрытом положении крышка люка занимает горизонтальное положение и опирается на петли и запорные кронштейны, удерживаемые закидными элементами запорных механизмов. Основные технические характеристики крышки люка приведены в таблице 1.

Табл. 1 – Основные технические характеристики крышки люка полувагона

Наименование показателя (параметра), размеры	Значение показателя
Масса крышки, кг	161,5
Длина, мм	1590
Ширина, мм	1530±2
Расстояние между осями петель, мм	670±1
Толщина листа штампованного, мм	5

Целью испытаний является:

- исследование и оценка напряженного состояния элементов крышек разгрузочных люков полувагона при действии заданных статических нагрузок;

- определение остаточных деформаций и трещин элементов крышки люка от действия падающего груза.

Основные задачи проводимых испытаний крышки люка:

- статических испытаний на прочность;
- испытаний на прочность от действия падающего груза.

Необходимые условия для проведения статических испытаний крышек люков полувагона [10]:

- наклейка на объект испытаний тензорезисторов согласно со схемой на рис. 3 и монтаж измерительных схем перед началом испытаний;
- наличие в специального помещения для проведения испытаний, в котором должна поддерживаться температура среды 18-20°C и влажность 74-76% для обеспечения возможности работы применяемых средств измерения в пределах их паспортных требований;
- наличие рабочего журнала установленной формы, в который заносятся результаты проводимых измерений при испытаниях, а также сведения о всех выявленных конструктивных недостатках исследуемых крышек люков.

Условием начала проведения испытаний является завершение монтажа измерительных схем и положительные результаты проверки их функционирования.

Условием прекращения испытаний является получение полного объема экспериментальных данных, предусмотренных программой испытаний или нарушение целостности конструкции крышки люка полувагона, угрожающее безопасности дальнейшего проведения испытаний.

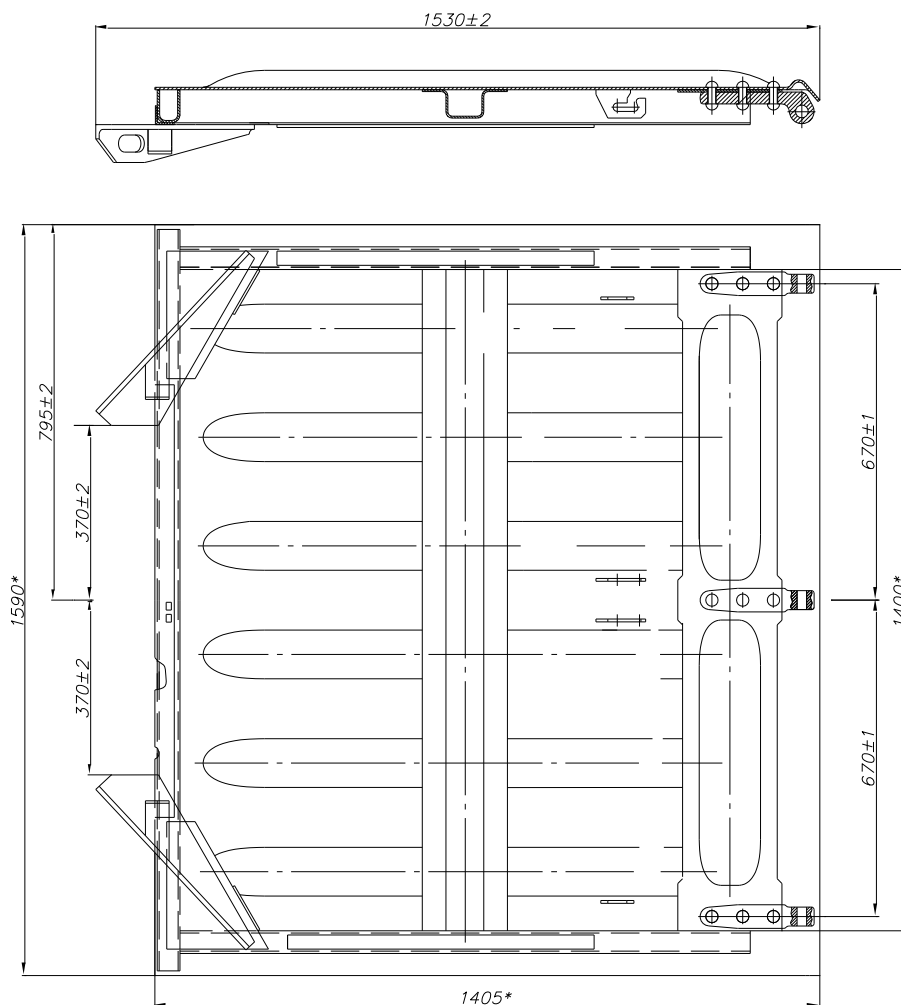


Рис. 2 - Крышка разгрузочного люка универсального полувагона

Перед началом испытаний выполняются следующие подготовительные работы:

- зачистка и подготовка контролируемых поверхностей крышки для измерений напряжений, наклейка на них тензорезисторов и их изоляция от воздействия окружающей среды, в соответствии с существующей инструкцией по наклейке и монтажу соответствующих датчиков, при этом должны контролироваться геометрические характеристики крышки люка;

- тензорезисторы должны наклеиваться на крышке на расстоянии 25 - 30 мм от сварных швов и на расстоянии 15 - 20 мм от кромок сопрягаемых деталей;

- перед началом испытаний производится градуировка применяемых средств измерительной техники.

Статические испытания крышки люка на прочность

При статических испытаниях на прочность деформации крышки люка полувагона регистрировались при воздействии на неё следующих испытательных нагрузок [8, 9, 10]:

- равномерно распределенной по площади крышки люка нагрузки $P_B=69,6$ кН, состоящей из силы тяжести брутто на крышку люка и динамической нагрузки;

- сосредоточенной на площади 25×25 см нагрузки 50 кН, приложенной в центре крышки люка.

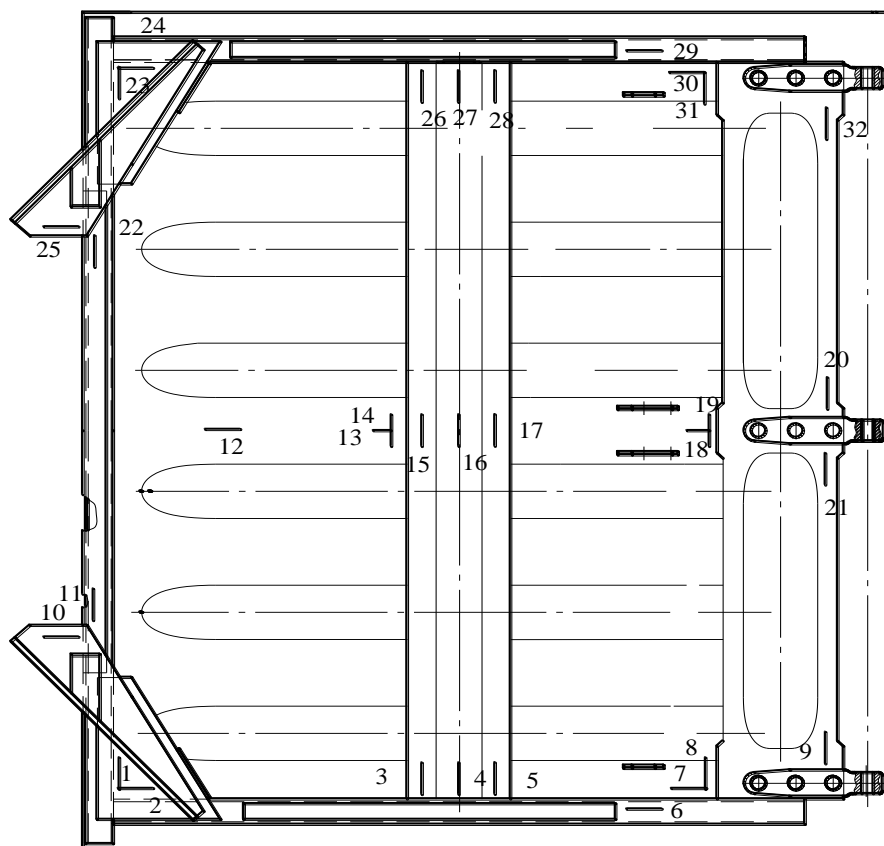
Измерения деформаций крышки производились тензорезисторами типа КФ5П1-10-200-А-12. Для получения достоверных результатов, при каждом режиме статических нагружений регистрация показаний тензорезисторов проводилась не менее трех раз, при

стабильных показаниях измерительных приборов.

Измерение деформаций крышки производилось в следующих её зонах (рис. 3):

- зона крепления кронштейнов запорных;
- кронштейны запорные;

- корытообразный профиль;
- обшивка крышки;
- уголок усиливающий;
- усиливающая планка.



Условное обозначение

—, —, —, —, —, —, —, — - тензорезисторы.

Рис. 3 - Размещение тензорезисторов на крышке люка полувагона при статических испытаниях

Измеренные в местах установки тензорезисторов деформации элементов крышки переводились в напряжения по ниже приведенным формулам.

В зонах одиночного монтажа тензорезисторов напряжения σ , МПа, определялись по формуле [10]:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

где: E - модуль упругости первого рода, для стали $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа;

ε - относительная деформация.

Для Т-образного монтажа розетки тензорезисторов, полагая, что коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$ и направления действия главных напряжений σ_1 и σ_2 , МПа, известны (σ_1 и σ_2 имеют направления, соответствующие ε_1 и ε_2), напряжения определялись по формулам:

$$\sigma_1 = 1,1 \varepsilon_1 \cdot E + 0,33 \varepsilon_2 \cdot E; \quad (2)$$

$$\sigma_2 = 1,1 \varepsilon_2 \cdot E + 0,33 \varepsilon_1 \cdot E; \quad (3)$$

где: ε_1 и ε_2 - относительные деформации. Эквивалентные напряжения σ_3 , МПа, определялись по формуле:

$$\sigma_3 = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2} \quad (4)$$

Далее проводилась оценка напряженного состояния крышки люка по III расчетному режиму, путем сравнения полученных напряжений с их допускаемыми значениями.

Материалы элементов конструкции крышки люка и допускаемые в них напряжения [8,9,10] приведены в таблице 2.

Табл. 2 – Материалы элементов конструкции крышки люка полувагона и допускаемые в них напряжения

Наименование узлов и элементов крышки, применяемый материал	Предел текучести, σ_m , МПа	Допускаемые напряжения, $[\sigma]$, МПа
Обшивка, каркас – сталь 09Г2С, ГОСТ 19281	345	210
Петли, кронштейны запорные элементы, профиль корытообразный – сталь 09Г2С, ГОСТ 19281	325	205
Уголок усиливающий – Ст3, ГОСТ 380	255	165

Зафиксированные максимальные напряжения в элементах крышки при статических испытаниях на прочность, в точках указанных на рис. 3, приведены в таблице 3.

Результаты испытаний на прочность и наличие остаточных деформаций крышки люка от действий падающего груза:

- при падении крышки на упоры при её открывании для разгрузки пола вагона, загруженного до полной грузоподъемности железной рудой, щебнем или другим не менее тяжелым кусковым грузом;

-при падении на закрытую крышку при погрузке вагона кускового груза общей массой до 2т (при массе отдельных кусков до 100кг) с высоты 3000мм;

-при падении на закрытую крышку отдельных кусков груза массой 150 кг с высоты 3000мм.

Табл. 3 – Наибольшие напряжения в элементах разгрузочной крышки полувагона при её статических испытаниях

Наименование элементов крышки	№ точки по рис. 3	σ , при нагрузке 50кН (МПа)	σ , при нагрузке 69,6 кН (МПа)
Обшивка, каркас	т. 3	151,52	181,13
Петли, кронштейны запорные, профиль корытный	т. 16	203,77	137,19
Уголок усиливающий	т. 29	134,64	133,97

Испытания крышки люка на прочность при действии падающего груза

При испытаниях полотно крышки люка было защищено подсыпкой из мелкокускового груза, с толщиной слоя 300 мм. Количество ударов, которым подвергалась крышка люка при испытаниях, принималось исходя из среднего количества загрузок одного полувагона, которые происходят за время его эксплуатации, от постройки до капитального ремонта, в течение 11 лет (исходя из средне-статистического суточного ориентировочного пробега 192 км, по данным Главного информационно-вычислительного центра ПАО «Укрзалізниця»), что составляет 500 ударов. Удары выполнялись грузом весом 150 кг, путем его сбрасывания с высоты 3 м, в соответствии с существующими требованиями [8, 9, 10].

Осмотр крышки люка (визуальная проверка сварных соединений, целостности полотна, элементов крепления крышки и наличия остаточных деформаций) выполняемый сначала через каждые 5 ударов, а затем через 20 ударов, видимых нарушений конструкции крышки не показал.

Выводы

1. Приведённая методика натурных испытаний крышек разгрузочных люков полу-

вагонов и их результаты показали, что максимальные напряжения в крышках при их статическом нагружении не превышают допустимых значений, установленных действующими нормативными документами, а при ударных нагружениях крышки в её конструкции отсутствуют видимые повреждения и остаточные деформации, при количестве нанесённых ударов соответствующем ударам по крышке в эксплуатации от момента создания вагона до его первого капитального ремонта (11 лет).

2. Предложенный метод натурных исследований разгрузочных крышек полувагонов и получаемые при них результаты позволяют обосновывать устанавливаемые основные эксплуатационные показатели для данной конструкции крышек и использовать эти опытные данные при создании новых конструкций полувагонов.

Литература

1. Фомін О.В. Аналіз експлуатаційних пошкоджень кузовів залізничних напіввагонів [Текст] / О.В. Фомін, О.В. Бурлуцький В.В. Фомін. – К.: Будівництво України, 2013. – Вип. № 3. – С. 45-52.

2. Фомін О.В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів – монографія, 2014. - 299с.

3. Сендеров, Г.К. Обеспечение сохранности полувагонов при грейферной выгрузке грузов [Текст] / Г.К. Сендеров, Е.В. Глаголев, Е.А. Поздина // Железнодорожный транспорт. Сер. Вагоны и вагонное хозяйство. Ремонт вагонов: ЭИ / ЦНИИТЭИ МПС. – М., 2001. – Вып.1. – С. 1-8.

4. Битюцкий А.А. Разработка комплексного метода проектирования, расчета и испытания грузовых вагонов – Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Санкт-Петербург, 1995. - 357 с.

5. Горбенко, А.П. Исследование напряженного состояния крышек люков полувагонов и мероприятия, повышающие их прочность: автореф. дис.. канд. техн. наук / А.П. Горбенко. Харьков: ХИИТ, 1970. - 20 с.

6. Блохин Е.П. Расчет грузовых вагонов на прочность при ударах / Е.П. Блохин, И.Г. Барбас, Л.А. Манашкин, О.М. Савчук / под ред. Е.П. Блохина – М.: Транспорт, 1988. – 380 с.

7. Конструирование и расчет вагонов: учеб. Для вузов ж.-д. трансп. [Текст] / [Лукин В. В., Шадур Л. А., Котуранов В. Н. и др.; под общ. ред. Анисимова П. С.]. — М: УМК МПС России, 2011. — 688 с.

8. Вантажні вагони. Загальні вимоги до розрахунків і проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних): ДСТУ 7598-2014. – [Чинний від 2015-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ» (УАС), 2014. – 162 с. – (Нац. стандарт України).

9. Вагоны Грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам: ГОСТ 33211-2014 [Чинний від 2016-07-01]. – М.: Стандартиформ, 2016. – 53 с. – (Міждержавний стандарт).

10. Вагоны Грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества: ГОСТ 33788-2016 [Чинний від 2017-05-01]. – М.: Стандартиформ, 2016. – 41 с. – (Міждержавний стандарт).

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Воропай Валерія Сергіївна,

к.т.н., старший викладач кафедри «Транспортні технології підприємств» Державного вищого навчального закладу «Приазовський державний технічний університет».

Вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, Донецька область, 87500.

Тел.: +38 098 278 19 75.

E-mail: vvoropay86@gmail.com.

Коваленко В'ячеслав Валерійович,

аспірант кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини» Східно-українського національного університету імені Володимира Даля.

Пр-т Центральний, 59, м. Сєверодонецьк, Луганська область, Україна, 93400.

E-mail: kovalenko.vjacheslav@mail.ru.

Лебедєв Володимир Сергійович,

студент 4-го курсу кафедри «Вагоны та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Вул. М. Лукашевича, 19, м. Київ, 03049.

Тел.: +38 067 378 27 20.

E-mail: leb_58@ukr.net.