

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья

УДК 656.073.436

DOI: 10.21780/2223-9731-2023-82-1-36-46

EDN: <https://elibrary.ru/jkdznl>



АНАЛИЗ НАГРУЖЕННОСТИ ВАГОНОВ-ЦИСТЕРН ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ ПРИ РОСПУСКЕ С ГОРКИ

Д. А. Ступин¹✉, А. В. Саврухин², Р. А. Ефимов²

¹Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),
Москва, Российская Федерация

²Российский университет транспорта РУТ (МИИТ),
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье рассматриваются вопросы определения скоростей соударения вагонов-цистерн для перевозки опасных грузов 2-го класса на сортировочной горке в порожнем и груженом состояниях, уровня сил, действующих на вагон через автосцепку, а также уровня ускорений, действующих на сливо-наливную, предохранительную арматуру и элементы внутреннего обустройства котла. В настоящее время маневровые операции через сортировочную горку с вагонами для перевозки опасных грузов 2-го класса с классификационным шифром 2112 и номерами ООН 1011, 1965, 1969, 1978 разрешено производить только с маневровым локомотивом с особой осторожностью, без толчков и резких остановок. Такое ограничение не позволяет на автоматизированных сортировочных горках производить роспуск газовых вагонов-цистерн, что усложняет маневровую работу при формировании состава.

Материалы и методы. Проведение испытаний на соударение вагона-цистерны, поочередно оборудованного поглощающими аппаратами классов Т1, Т2 и Т3 с замером скоростей, сил и ускорений.

Результаты. Определены максимально допустимые скорости соударения вагона-цистерны.

Обсуждение и заключение. Принимая во внимание результаты проведенных испытаний, а также требования ГОСТ 32913–2014, можно констатировать, что реализация ранее разработанной технологии по роспуску на сортировочных горках вагонов-цистерн для перевозки грузов 2-го класса опасности, оборудованных поглощающими аппаратами класса Т3, со скоростью подхода не более 3 км/ч соответствует требованиям обеспечения безопасности при роспуске.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вагон-цистерна, поглощающий аппарат, роспуск вагонов, сжиженные углеводородные газы, сортировочная горка, железнодорожная станция, безопасность перевозок

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ступин Д. А., Саврухин А. В., Ефимов Р. А. Анализ нагруженности вагонов-цистерн для перевозки опасных грузов при роспуске с горки // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2023. Т. 82, № 1. С. 36–46. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-1-36-46>.

✉ stupin.dmitry@vniizht.ru (Д. А. Ступин)

© Ступин Д. А., Саврухин А. В., Ефимов Р. А., 2023



TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 656.073.436

DOI: 10.21780/2223-9731-2023-82-1-36-46

EDN: <https://elibrary.ru/jkdznl>



LOAD ANALYSIS OF DANGEROUS FREIGHT CISTERN CARS DURING GRAVITY HUMP

Dmitriy A. Stupin¹✉, Andrey V. Savrukhin²,
Roman A. Efimov²

¹Railway Research Institute,

Moscow, Russian Federation

²Russian University of Transport,

Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The article considers the determination of the impact velocities of empty and loaded Class 2 dangerous freight cistern cars on a gravity hump, the forces acting on the car through the automatic coupler, as well as the accelerations acting on the loading and unloading, safety valves and elements of the tank shell interior. Currently Class 2 dangerous freight cars with Classification Code 2112 and UN numbers 1011, 1965, 1969, 1978 could be shunted over the gravity hump only with a shunting locomotive, backing off with extreme caution, without jerks or sudden stops. This limitation prevents shunting gas cistern cars on automated gravity humps, which complicates shunting operations during train formation.

Materials and methods. Impact test of a cistern car alternately equipped with cushions of Classes T1, T2 and T3 with measurement of speeds, forces and accelerations.

Results. The maximum permissible impact velocities of the cistern car are determined.

Discussion and conclusion. According to the test results, as well as the GOST 32913–2014 requirements, the authors state that the implementation of the previously developed technology for shunting Class 2 dangerous freight cistern cars equipped with Class T3 draft gears on gravity humps, with a maximum approach speed of 3 km/h complies with shunting safety requirements.

KEYWORDS: cistern car, draft gear, automatic car shunting, liquid hydrocarbon gases, gravity hump, railway station, transportation safety

FOR CITATION: Stupin D. A., Savrukhin A. V., Efimov R. A. Load analysis of dangerous freight cistern cars during gravity hump. *Russian Railway Science Journal*. 2023;82(1):36-46. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-1-36-46>.

Введение. В настоящее время значительные финансовые потери ОАО «РЖД» связаны с ограничением использования функционала автоматизированных сортировочных горок из-за наличия запрета на роспуск с сортировочных горок вагонов, имеющих в перевозочных документах штамп «Не спускать с горки». В соответствии с нормативными документами [1–3] маневровые операции через сортировочную горку с вагонами для перевозки опасных грузов 2-го класса с классификационным шифром 2112 и номерами ООН 1011, 1965, 1969, 1978 (далее — вагоны для перевозки опасных грузов 2-го класса) разрешено производить только с маневровым локомотивом осаживанием с особой осторожностью, без толчков и резких остановок.

Проведенные исследования показали следующее:

- вагоны для перевозки опасных грузов 2-го класса составляют более половины общего вагонопотока, запрещенного к роспуску на сортировочных горках;
- подавляющее большинство опасных грузов 2-го класса перевозится в цистернах, роспуск которых запрещен как в груженом, так и в порожнем состоянии;
- вагоны-цистерны для перевозки опасных грузов 2-го класса по результатам анализа натурных листов [4] находятся не менее чем в 25 % составов, приходящих в расформирование на крупнейшие сортировочные станции сети.

С целью снижения отрицательного влияния действующей технологии расформирования составов с вагонами для перевозки опасных грузов 2-го класса на показатели эффективности работы железнодорожных станций и увеличения перерабатывающей способности сортировочных горочных комплексов учеными и специалистами РУТ (МИИТ) разработан «Комплекс мероприятий по снятию ограничений на роспуск с сортировочных горок железнодорожных станций вагонов с опасными грузами 2-го класса опасности (СУГ)» (утвержден Федеральным агентством железнодорожного транспорта Министерства транспорта Российской Федерации), в котором сформулированы основные требования с позиции обеспечения безопасного роспуска, включающие:

- разработку единой методики аттестации сортировочных станций на предмет разрешения роспуска вагонов для перевозки опасных грузов 2-го класса, предложения по внесению изменений в нормативные документы, заключение по обоснованию безопасности роспуска вагонов для перевозки опасных грузов 2-го класса;
- требования к техническому оснащению вагонов-цистерн, предназначенных для перевозки опасных грузов 2-го класса, в том числе в части оборудования вагонов-цистерн поглощающими аппаратами.

В рамках реализации Комплекса мероприятий учеными РУТ (МИИТ) совместно с учеными Ростовского филиала АО «НИИАС» разработана технология безопасного роспуска указанных вагонов в автоматическом режиме под управлением комплексной системы автоматизации управления сортировочным процессом (КСАУ СП). Технология прошла экспериментальную апробацию в ходе натурных испытаний с использованием вагонов-имитаторов на станции Орехово-Зуево Московской железной дороги.

На основе анализа результатов проведенных теоретических и экспериментальных исследований [5–9] установлено, что реализовать технологию безопасного роспуска возможно только на железнодорожной станции, прошедшей комплексную аттестацию по критериям, указанным в Методике аттестации железнодорожных станций с автоматизированными горками с позиции обеспечения безопасности при роспуске вагонов-цистерн для перевозки опасных грузов 2-го класса опасности (пропанобутановые смеси) [10].

С целью подготовки научного обоснования допустимых скоростей соударения при роспуске на сортировочных горках выполнен комплекс исследований, включающий: проведение испытаний на соударение вагона-цистерны для перевозки опасных грузов 2-го класса, оборудованного поглощающими аппаратами классов Т1, Т2 и Т3, с оценкой фактического технического состояния вагона до и после роспуска; анализ сохранности вагона и груза, надежности конструкций цистерны с установлением максимально допустимых скоростей соударения с позиции обеспечения безопасности при гарантированном непревышении допустимого уровня сил, действующих на вагон через автосцепку.

Постановка задачи. Поглощающий аппарат является неотъемлемым элементом сцепного устройства вагона, который обеспечивает поглощение энергии и снижение продольного силового воздействия на раму вагона.

За последние 20 лет были разработаны поглощающие аппараты с повышенной энергоемкостью, которые разделены на три класса: Т1 — не менее 90 кДж, Т2 — не менее 130 кДж и Т3 — не менее 190 кДж.

Учеными АО «ВНИИЖТ» в последние годы проводились обширные научные исследования по оценке влияния энергоемкости поглощающих аппаратов на динамико-прочностные характеристики несущих элементов конструкций вагонов. Результаты натурных испытаний по соударению вагонов с различными поглощающими аппаратами и измерению допустимого уровня продольных сил, проведенных на испытательном полигоне в Щербинке, показали положительное влияние применения поглощающих аппаратов классов Т2 и Т3 на безопасность движения за счет уменьшения

вероятности возникновения нештатных и аварийных ситуаций, а также снижения степени повреждающего воздействия на элементы конструкции вагона при их возникновении [11, 12].

По результатам исследований установлено, что эквивалентная амплитуда продольных сил, действующих на вагон (за 1 год эксплуатации), при использовании поглощающих аппаратов повышенной энергоемкости снижается на 20–29 %. Доказана эффективность применения поглощающих аппаратов классов Т2 и Т3 в части снижения рисков повреждения котла цистерны при соударениях со скоростью, превышающей установленную в нормативных документах. Условно безопасная скорость при использовании поглощающих аппаратов классов Т2 и Т3 по сравнению с Т0 повышается не менее чем на 65 %, а остаточный ресурс несущих элементов кузова, воспринимающих нагрузки, — более чем в 3,8 раза, что свидетельствует о значительном уменьшении вероятности возникновения аварийных и нештатных ситуаций и снижении степени повреждающего воздействия при их возникновении [11].

Статистические данные об увеличении доли вагонов, оборудованных поглощающими аппаратами классов Т2 и Т3 начиная с 2000 г., свидетельствуют о значительном положительном влиянии на безопасность перевозки опасных грузов в связи с уменьшением количества инцидентов с вагонами, перевозящими опасные грузы [11].

В дополнение к проведенным ранее испытаниям по влиянию поглощающих аппаратов с повышенной энергоемкостью классов Т2 и Т3 на динамико-прочностные характеристики и повышение безопасности движения вагонов при маневровых и аварийных соударениях отмечена необходимость проведения сравнительных испытаний для определения влияния энергоемкости поглощающих аппаратов на продольную динамику поезда в режимах трогания и торможения. В результате этих исследований [12] установлено, что применение поглощающих аппаратов классов Т2/Т3 вместо Т0/Т1 обеспечивает снижение уровня сил, действующих при одинаковых режимах движения наливного поезда, в 1,9–2,2 раза для вагонов в средней части поезда и в 1,6–2,0 раза для вагонов во второй трети поезда. Таким образом, снижение уровня продольных сил в случае замены поглощающих аппаратов с классов Т0/Т1 на Т2/Т3 в поездном режиме даже более заметно, чем при соударении вагонов, где было отмечено снижение уровня сил в 1,4 раза для вагонов-цистерн [12]. Также было отмечено, что вследствие влияния на продольную динамику поезда характеристик аппаратов всех вагонов поезда снижение эквивалентных нагрузок в поездных режимах и соответствующее значительное увеличе-

ние остаточного ресурса элементов конструкции вагона, воспринимающих продольные силы, в полной мере проявится после насыщения парка вагонов аппаратами классов Т2 и Т3.

Таким образом, экспериментально доказана целесообразность оборудования вагонов для перевозки опасных грузов 2-го класса поглощающими аппаратами повышенной энергоемкости классов Т2 и Т3.

При настоящих испытаниях определялись максимально допускаемые скорости соударения вагонов-цистерн для перевозки опасных грузов 2-го класса на сортировочной горке в порожнем и груженом состоянии при условии гарантированного обеспечения не превышения уровня сил, действующих на вагон через автосцепку, не превышения уровня ускорений, действующих на сливо-наливную, предохранительную арматуру и элементы внутреннего обустройства котла.

Методы исследования. При роспуске с горки порожних вагонов наиболее частым повреждением является потеря устойчивости при соударении. При этом происходит выскакивание пружин тележки, выход тележки из пятника, а при соударении в кривых участках пути нередки и сходы порожних вагонов.

Критерием оценки допускаемой скорости соударения в порожнем режиме является норматив по силе соударения 1000 кН (1 МН), который определяет третий расчетный режим при ударе и рывке в соответствии с [13]. Правильность выбранного критерия подтверждают проведенные в предыдущие годы испытания, при которых при продольном усилии соударения порожнего вагона-цистерны более 1,3 МН наблюдался выход пружин тележек из посадочных приливов боковой рамы и наддрессорной балки. При силе соударения более 1,5 МН уже наблюдался процесс вылетания пружин из тележки.

При роспуске с горки груженых вагонов наиболее частые повреждения связаны с прочностью элементов конструкции. При этом происходят изломы деталей автосцепного устройства, повреждения задних упоров, не редки деформации хребтовой балки. Остаточная деформация автосцепки при ударном сжатии может привести к ее обрыву в поездном режиме эксплуатации.

Критерием оценки допускаемой скорости соударения в груженом режиме является норматив по силе соударения 2000 кН (2 МН), который определяет ее не превышение при маневровых соударениях одиночных 4-осных вагонов, а также при осаживании и трогании на площадке поезда массой до 10 000 тс локомотивом в голове поезда в соответствии с разделом 8 Норм расчета и проектирования вагонов железных дорог колеи 1520 мм [13]. Кроме того, 2 МН является номинальной силой соударения, при которой определяют номинальную энергоемкость поглощающего аппарата согласно требованиям ГОСТ 32913–2014 [14].



Рис. 1. Деформация верхнего листа хребтовой балки

Fig. 1. Longitudinal tie rod upper sheet deformation

На основании результатов обработки статистической информации об отказах вагонов для перевозки опасных грузов 2-го класса установлено, что наиболее часто повреждаемыми в эксплуатации элементами конструкции являются детали и узлы запорной арматуры. В этой связи для оценки допускаемой скорости соударения был использован второй критерий — не превышение вертикальных и горизонтальных ускорений, действующих на запорную арматуру. Нормативные величины ускорений для расчета навесного оборудования согласно требованиям раздела 2.7 [13] для продольных ускорений составляют $6g$, а для вертикальных — $1,8g$.

Для оценки экспериментально полученных значений максимально допускаемых скоростей соударения был использован критерий ее не превышения:

$$v_{\text{доп}} \leq 2,2v_n,$$

где $v_{\text{доп}}$ — максимально допускаемая скорость соударения; v_n — нормативная скорость подхода вагонов, роспуск которых разрешен в подгорочном парке; $2,2$ — коэффициент запаса.

При рассмотрении вагонов, роспуск которых разрешен в подгорочном парке и выполняется по типовой технологии, v_n согласно [2] составляет 5 км/ч . В этом случае $v_{\text{доп}} = 11 \text{ км/ч}$.

При реализации разработанной технологии роспуска вагонов для перевозки опасных грузов 2-го класса, обеспечивающей скорость подхода вагонов к стоящим вагонам $v_n \leq 3 \text{ км/ч}$, критерий допускаемой скорости соударения составляет $v_{\text{доп}} = 6,6 \text{ км/ч}$.

В коэффициенте запаса учитываются следующие факторы возможного увеличения скорости соударения на сортировочных горках:

- ветер и его порывы во время роспуска вагонов;
- загрязненные ободья колес, снижающие тормозной эффект замедлителя;
- переторможение вагона в замедлителе до его остановки;
- несрабатывание одной из тормозных позиций.

Объектом испытаний являлась газовая цистерна № 57569410 собственности АО «СГ-Транс», которая была построена в 1980 г. Согласно трафаретным записям масса тары цистерны составляет $33,6 \text{ т}$. До испытаний цистерна была осмотрена представителями АО «ВНИИЖТ», РУТ (МИИТ) и собственника вагона. В результате осмотра обнаружена деформация верхнего листа хребтовой балки в районе установки тягового хомута (рис. 1). Со стороны стояночного тормоза деформация составила $11\text{--}15 \text{ мм}$, с противоположной стороны цистерны — не более 13 мм .

Обнаруженная деформация является следствием недостаточной прочности верхнего листа хребтовой балки, изготовленной из двух швеллеров. У хребтовых балок, изготовленных из Z-образного профиля, такой дефект отсутствует.

По эксплуатационным техническим показателям поглощающие аппараты для грузового подвижного состава делятся на следующие классы:

- поглощающие аппараты класса Т1, предназначенные для вагонов, перевозящих все виды грузов (кроме опасных грузов), а также маневровых локомотивов массой до 100 т включительно;
- поглощающие аппараты класса Т2, предназначенные для специализированных вагонов, перевозящих ценные грузы, опасные грузы классов 3, 4, 5, 8, 9 по ГОСТ 19433–88 [15], а также вагонов с расчетной массой брутто свыше 120 т и магистральных локомотивов;
- поглощающие аппараты класса Т3, предназначенные для вагонов, перевозящих особо опасные грузы классов 1, 2, 6, 7 по ГОСТ 19433–88 [15], а также маневровых локомотивов массой свыше 100 т .

В качестве поглощающих аппаратов при испытаниях были использованы следующие модели:

- класс Т1 ПМКП-110 № 60, условное клеймо производителя 12, год изготовления 2019;
- класс Т2 73ZWу № 551, условное клеймо производителя 1415, год изготовления 2011;
- класс Т3 73ZWу2 № 11465, условное клеймо производителя 1415, год изготовления 2017.

Следует отметить, что поглощающий аппарат класса Т3 являлся штатным поглощающим аппаратом цистерны № 57569410, которым она была оборудована при поступлении на испытания.

На рис. 2 представлены силовые характеристики поглощающих аппаратов, полученные во время соударения груженой цистерны.

Поглощающий аппарат класса T1 (рис. 2, а) имеет жесткую силовую характеристику с заметным скачкообразным изменением силы на линии нагрузки, что характерно для фрикционных поглощающих аппаратов, имеющих в своей конструкции узел сухого трения сталь по стали.

Поглощающие аппараты класса T2 и T3 (рис. 2, б, в) имеют мягкие силовые характеристики, которые определяются объемной деформацией эластомерного материала и его продавливанием (дресселированием) через кольцевой зазор в амортизаторе. Небольшие скачкообразные изменения на линии нагрузки — влияние фрикционного аппарата класса T0, установленного на вагоне-бойке. Поглощающие аппараты класса T2 и T3 имеют одинаковое конструктивное исполнение и отличаются величиной хода эластомерного амортизатора: 90 мм для T2 и 110 мм для T3.

Силовые характеристики имеют достаточную энергоемкость, что указывает на исправность поглощающих аппаратов.

Испытания проводились в мае 2020 г. при температуре окружающего воздуха 10–15 °С на стенде горке путем соударения двух вагонов в порожнем и груженом режимах. Ударяемый вагон-цистерну устанавливали на горизонтальном участке пути в «подпор» и по очереди оборудовали поглощающими аппаратами определенного класса (T1, T2, T3). Вагон-боек был оборудован поглощающим аппаратом класса T0.

На вагон-цистерну устанавливали автосцепку-динамометр, ее предохранительный клапан оборудовали акселерометрами для контроля ускорений в продольном и вертикальном направлении. При каждом соударении измеряли скорость, силу, горизонтальное и вертикальное ускорение.

Ударяемый вагон-цистерна в груженом режиме был загружен до полной грузоподъемности, и его фактическая масса определена взвешиванием. В качестве вагона-бойки использовали груженный полувагон массой (100 ± 5) т.

Для определения максимально допускаемой скорости соударения вагонов построены зависимости силы от скорости $P(V)$, а также ускорения (продольного и вертикального) от скорости $A(V)$. На основании статистической обработки полученных зависимостей определены максимально допускаемые скорости соударения при номинальной силе соударения 2 МН для груженого режима и 1 МН для порожнего, а также при продольном ускорении $6g$ и вертикальном $1,8g$. После проведения испытаний визуально производилась оценка технического состояния силовых элементов котла, рамы, автосцепного устройства, а также исправность сливо-наливной и

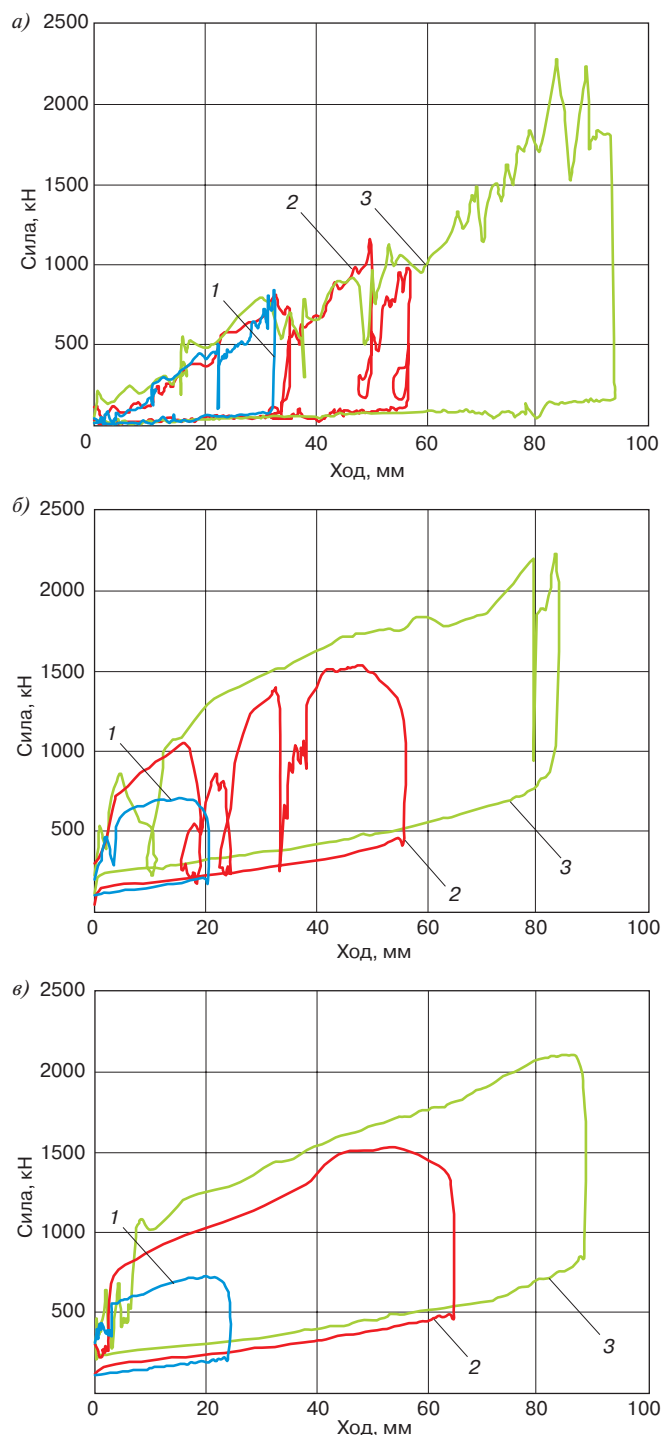


Рис. 2. Силовые характеристики поглощающих аппаратов (груженный режим):

а — поглощающий аппарат класса T1: 1 — 3,3 км/ч; 2 — 6,4 км/ч; 3 — 9,9 км/ч; б — поглощающий аппарат класса T2: 1 — 3,8 км/ч; 2 — 8,8 км/ч; 3 — 11,9 км/ч; в — поглощающий аппарат класса T3: 1 — 4,1 км/ч; 2 — 8,5 км/ч; 3 — 11,5 км/ч

Fig. 2. Draft gear load bearing characteristics (loaded):

а — Class T1 draft gear: 1 — 3.3 km/h; 2 — 6.4 km/h; 3 — 9.9 km/h; б — Class T2 draft gear: 1 — 3.8 km/h; 2 — 8.8 km/h; 3 — 11.9 km/h; в — Class T3 draft gear: 1 — 4.1 km/h; 2 — 8.5 km/h; 3 — 11.5 km/h

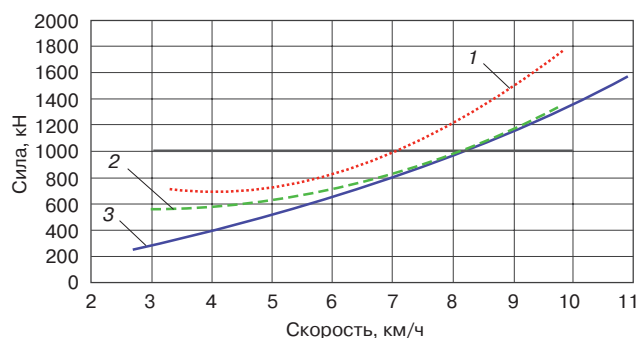


Рис. 3. Зависимость продольной силы от скорости соударения порожней цистерны с поглощающими аппаратами определенного класса:
1 — аппарат класса T1; 2 — аппарат класса T2;
3 — аппарат класса T3

Fig. 3. Dependence of the longitudinal force on the impact velocity of an empty tank body with draft gears of a certain class:
1 — Class T1 gear; 2 — Class T2 gear; 3 — Class T3 gear

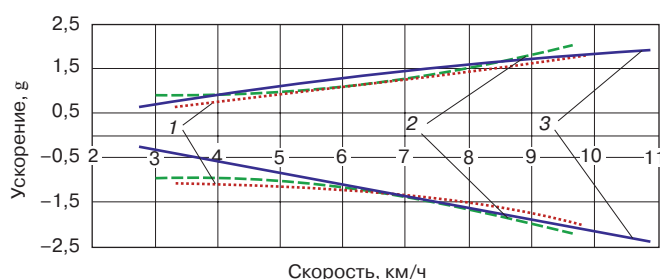


Рис. 4. Зависимость продольных ускорений от скорости соударения порожней цистерны с поглощающими аппаратами определенного класса:
1 — аппарат класса T1; 2 — аппарат класса T2;
3 — аппарат класса T3

Fig. 4. Dependence of the longitudinal accelerations on the impact velocity of an empty tank body with draft gears of a certain class:
1 — Class T1 gear; 2 — Class T2 gear; 3 — Class T3 gear

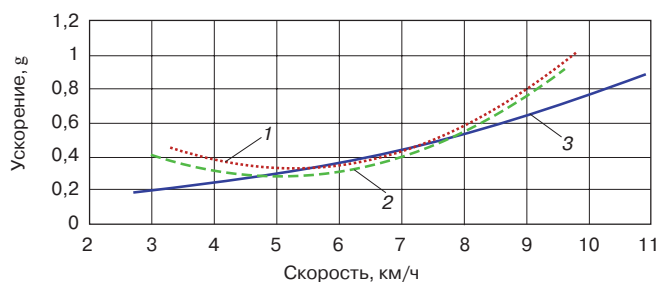


Рис. 5. Зависимость вертикальных ускорений от скорости соударения порожней цистерны с поглощающими аппаратами определенного класса:
1 — аппарат класса T1; 2 — аппарат класса T2;
3 — аппарат класса T3

Fig. 5. Dependence of the vertical accelerations on the impact velocity of an empty tank body with draft gears of a certain class:
1 — Class T1 gear; 2 — Class T2 gear; 3 — Class T3 gear

предохранительной арматуры и арматуры для контроля сливно-наливных операций.

Порожний режим испытаний. На рис. 3 приведен сравнительный график зависимостей зарегистрированной продольной силы от скорости соударения, которые были аппроксимированы полиномом 2-й степени.

Анализ представленных на рисунке зависимостей показывает, что максимально допустимая скорость соударения порожней цистерны с поглощающим аппаратом класса T1 составляет 6,77 км/ч, с поглощающим аппаратом класса T2 — 7,92 км/ч, а с поглощающим аппаратом класса T3 — 8,04 км/ч.

Таким образом, в результате проведенных испытаний установлено, что поглощающий аппарат класса T3 обеспечивает более низкий уровень нагружения элементов конструкции цистерны при соударении.

Как уже отмечалось ранее, уровень продольных и вертикальных ускорений на предохранительном клапане запорной арматуры при соударении вагонов согласно требованиям раздела 2.7 [13] не должен превышать нормативного значения — 6g для продольных и 1,8g для вертикальных ускорений.

На рис. 4 приведен сравнительный график зависимостей продольных ускорений (замедлений) от скорости соударения порожней цистерны с поглощающими аппаратами классов T1, T2 и T3.

Анализ представленных зависимостей на рисунке показывает, что уровень продольных ускорений на запорной арматуре во всем диапазоне скоростей для всех поглощающих аппаратов не превышает 6g.

На рис. 5 приведен сравнительный график зависимостей вертикальных ускорений от скорости соударения порожней цистерны с поглощающими аппаратами классов T1, T2 и T3.

Анализ представленных зависимостей на рисунке показывает, что уровень вертикальных ускорений на запорной арматуре во всем диапазоне скоростей для всех поглощающих аппаратов не превышает 1,8g.

Таким образом, соударение вагона, оборудованного поглощающими аппаратами всех рассмотренных классов, во всем реализованном диапазоне скоростей не превышает критерийных нормативных значений продольных и вертикальных ускорений.

Груженный режим испытаний. В груженом режиме цистерна была заполнена водой до массы брутто 84,95 т согласно протоколу взвешивания.

На рис. 6 приведен сравнительный график зависимостей силы от скорости соударения.

Анализ представленных на рисунке зависимостей показывает, что максимально допустимая скорость соударения груженой цистерны с поглощающим аппаратом класса T1 составляет 8,86 км/ч, с поглощающим

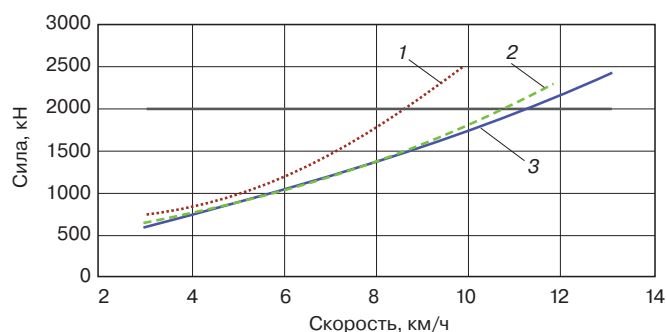


Рис. 6. Зависимость продольной силы от скорости соударения грузовой цистерны с поглощающими аппаратами определенного класса: 1 — аппарат класса T1; 2 — аппарат класса T2; 3 — аппарат класса T3

Fig. 6. Dependence of the longitudinal force on the impact velocity of a loaded tank body with draft gears of a certain class: 1 — Class T1 gear; 2 — Class T2 gear; 3 — Class T3 gear

аппаратом класса T2 — 10,88 км/ч, с поглощающим аппаратом класса T3 — 11,01 км/ч. Поглощающий аппарат класса T3 имеет более низкий уровень сил соударения.

На рис. 7 приведен сравнительный график зависимостей продольных ускорений (замедлений) от скорости соударения грузовой цистерны с поглощающими аппаратами классов T1, T2 и T3.

Анализ представленных зависимостей на рисунке показывает, что уровень продольных ускорений на запорной арматуре во всем диапазоне скоростей для всех поглощающих аппаратов не превышает 6g.

На рис. 8 приведен сравнительный график зависимостей вертикальных ускорений от скорости соударения грузовой цистерны с поглощающими аппаратами классов T1, T2 и T3.

Анализ представленных зависимостей на рисунке показывает, что уровень вертикальных ускорений на запорной арматуре во всем диапазоне скоростей для всех поглощающих аппаратов не превышает 1,8g.

Таким образом, соударение вагона, оборудованного поглощающими аппаратами всех рассмотренных классов, во всем реализованном диапазоне скоростей не превышает критериальных нормативных значений продольных и вертикальных ускорений.

После окончания испытаний на соударение цистерна была осмотрена на предмет формирования повреждений в процессе проведения испытаний. В результате визуального осмотра новых повреждений не обнаружено. Деформация верхнего листа хребтовой балки, обнаруженная до испытаний, не увеличилась. Запорная арматура в исправном состоянии.

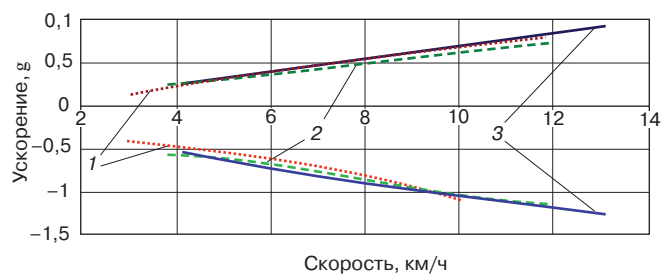


Рис. 7. Зависимость продольных ускорений от скорости соударения грузовой цистерны с поглощающими аппаратами определенного класса: 1 — аппарат класса T1; 2 — аппарат класса T2; 3 — аппарат класса T3

Fig. 7. Dependence of the longitudinal acceleration on the impact velocity of a loaded tank body with draft gears of a certain class: 1 — Class T1 gear; 2 — Class T2 gear; 3 — Class T3 gear

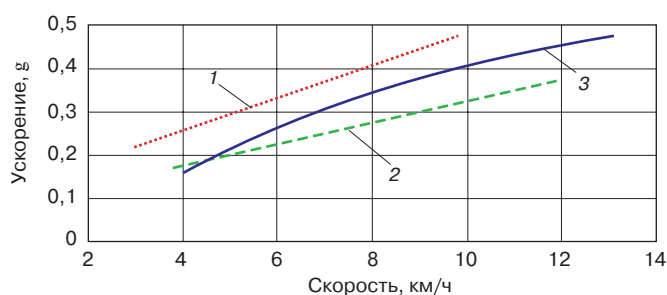


Рис. 8. Зависимость вертикальных ускорений от скорости соударения грузовой цистерны с поглощающими аппаратами определенного класса: 1 — аппарат класса T1; 2 — аппарат класса T2; 3 — аппарат класса T3

Fig. 8. Dependence of the vertical acceleration on the impact velocity of a loaded tank body with draft gears of a certain class: 1 — Class T1 gear; 2 — Class T2 gear; 3 — Class T3 gear

Закключение. На основании анализа результатов проведенных испытаний на соударение цистерны для перевозки опасных грузов 2-го класса установлено:

1. Максимально допустимая скорость соударения вагона-цистерны для перевозки опасных грузов 2-го класса в порожнем состоянии, оборудованного поглощающим аппаратом класса T1, составляет 6,77 км/ч, поглощающим аппаратом класса T2 — 7,92 км/ч, поглощающим аппаратом класса T3 — 8,04 км/ч.

2. Максимально допустимая скорость соударения вагона-цистерны для перевозки опасных грузов 2-го класса в грузном состоянии, оборудованного поглощающим аппаратом класса T1, составляет 8,86 км/ч, поглощающим аппаратом класса T2 — 10,88 км/ч, поглощающим аппаратом класса T3 — 11,01 км/ч.

3. Соударение вагона-цистерны, оборудованного поглощающими аппаратами всех рассмотренных классов, во всем реализованном диапазоне скоростей не превышает критериальных нормативных значений продольных и вертикальных ускорений.

Принимая во внимание результаты проведенных испытаний, а также требования ГОСТ 32913–2014, можно констатировать, что реализация разработанной технологии по роспуску на аттестованных автоматических сортировочных горках вагонов-цистерн для перевозки опасных грузов 2-го класса, оборудованных поглощающими аппаратами класса ТЗ, с обеспечением скорости подхода не более 3 км/ч соответствует требованиям обеспечения безопасности при роспуске.

Благодарности: особую благодарность авторы выражают руководителю Центральной дирекции управления движением ОАО «РЖД» за поддержку при решении актуальной для железнодорожного транспорта задачи, связанной с разработкой технологии безопасного роспуска вагонов для перевозки опасных грузов на аттестованных автоматизированных сортировочных станциях, ученым и специалистам Ростовского филиала АО «НИИАС» за плодотворное сотрудничество при решении указанной задачи, а также рецензентам за рекомендации, позволившие повысить качество содержания статьи.

Acknowledgments: the authors express their gratitude to Central Directorate of Traffic Management of Russian Railways for their support in solving a critical problem for railway transport related to the development of a technology for the safe gravity hump of dangerous freight cars at certified automated gravity hump; to scientists and specialists of the Rostov Branch of JSC NIIAS for effective cooperation, and to the reviewers for their constructive comments, improving the quality of the article.

Финансирование: не указано.

Funding: not specified.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) [Электронный ресурс]: с изм. и доп. на 1 июля 2022 г. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_133603 (дата обращения: 27.10.2022) [*Soglasenie o mezhdunarodnom zheleznodorozhnom gruzovom soobshchenii (SMGS)*] [Agreement on International Goods Transport by Rail (AIGTR)]. As amended and revised on 1 July 2022. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_133603 (accessed: 27.10.2022).

2. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации [Электронный ресурс]: утв. приказом Минтранса России от 23 июня 2022 г. №250. URL: <https://docs.cntd.ru/document/351240235> (дата обращения: 27.10.2022) [*Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii zheleznnykh dorog Rossiyskoy Federatsii*] [Rules for the technical operation of the railways of the Russian Federation]. Approved by Order of the Ministry of Transport of Russia dated 23 June 2022 No. 250. (In Russ.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/351240235> (accessed: 27.10.2022).

3. Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам [Электронный ресурс]: утв. Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества, протокол от 5 апреля 1996 г. №15 (ред. от 22.11.2021). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_97657 (дата обращения: 27.10.2022) [*Pravila perevozok opasnykh грузов po zheleznym dorogam*] [Rules of transport of dangerous goods by rail]. Approved by the Rail Transport Council of the Commonwealth Members, Minutes dated 5 April 1996 No. 15 (ed. 22.11.2021). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_97657 (accessed: 27.10.2022).

4. Инструкция по составлению натурального листа грузового поезда. Приложение №18 [Электронный ресурс]: утв. на 66-м заседании Совета по железнодорожному транспорту СНГ от 18–19 мая 2017 г. URL: <https://base.garant.ru/71728996/> (дата обращения: 27.10.2022) [*Instruktsiya po sostavleniyu naturnogo lista gruzovogo poezda. Prilozhenie №18*] [Freight train wagon list drafting instructions. Annex No. 18]. Approved by the 66th Meeting of the CIS Rail Transport Council dated 18–19 May 2017. URL: <https://base.garant.ru/71728996/> (accessed: 27.10.2022).

5. Щеглов П. П., Жолобов В. И., Ложникова Т. И. Проблема безопасности при роспуске с сортировочных горок вагонов с легковоспламеняющимися жидкостями // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2005. № 6. С. 36–38 [Shcheglov P. P., Zholobov V. I., Lozhnikova T. I. Problema bezopasnosti pri rospuske s sortirovochnykh gorok vagonov s legkovosplamenyayushchimisya zhidkostyami] [Shunting safety issues of flammable liquid cars shunted on gravity humps]. *Russian Railway Science Journal*. 2005;6:36-38]. EDN: <https://elibrary.ru/hsyoooh>.

6. Вагон-цистерна сочлененного типа для перевозки сжиженных углеводородных газов / С. А. Федоров [и др.] // Вагоны и вагонное хозяйство. 2019. № 2. С. 30–32 [Fedorov S. A., Aginskikh M. V., Lobanov M. S., Shishova E. V. Vagon-tsisterna sochlenennogo tipa dlya perevozki szhizhennykh uglevodorodnykh gazov] [The articulated tank car for transporting liquid hydrocarbon gases]. *Vagony i vagonnoye khozyaystvo*. 2019;2:30-32]. EDN: <https://elibrary.ru/gkxeze>.

7. Интегрированный программно-аппаратный модуль для роспуска опасных грузов / А. Е. Хатламаджиян [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2021. № 12. С. 35–37 [Khatlamadzhiyan A. E., Sokolov V. N., Ol'geyzer I. A., Korniyenko K. I. Integrirovannyy programmno-apparatnyy modul' dlya rospuska opasnykh грузов] [Integrated Dangerous Goods Marshalling Software and Hardware Module]. *Zheleznodorozhnyy transport*. 2021;12:35-37]. EDN: <https://elibrary.ru/pkacgg>.

8. Корниенко К. И., Ольгейзер И. А., Соколов В. Н. Обеспечение безопасности роспуска вагонов для перевозки опасных грузов // Управление эксплуатационной работой на транспорте (УЭРТ – 2022): сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 15–16 марта 2022 г. СПб.: ПГУПС, 2022. С. 222–227 [Korniyenko K. I., Ol'geyzer I. A., Sokolov V. N. Ensuring the safety of the dissolution of cars for the transportation of dangerous goods. In: *Upravlenie ekspluatatsionnoy rabotoy na transporte (UERT – 2022): sb. tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Sankt-Peterburg, 15–16 marta 2022 g.*] [Transport operations management (UERT – 2022): Proceedings of the International-to-Practice Conference, St. Petersburg, 15–16 March 2022. St. Petersburg: PGUPS; 2022. P. 222–227. (In Russ.).] EDN: <https://elibrary.ru/iekqkc>.

9. Корниенко К. И., Ольгейзер И. А., Соколов В. Н. О безопасности при роспуске опасных грузов в автоматизированном режиме // Проблемы безопасности на транспорте: материалы XII Международ. науч.-практ. конф., посвященной 160-летию Белорусской железной дороги, Гомель, 24–25 ноября 2022 г.: в 2-х ч. / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. Гомель: Белорусский гос. ун-т транспорта, 2022. Ч. 1. С. 348–351 [Kornienko K. I., Ol'geyzer I. A., Sokolov V. N. O bezopasnosti pri rospuske opasnykh gruzov v avtomatizirovannom rezhime [On the safety of automated shunting of dangerous goods]. In: Kulazhenko Yu. I. (ed.). *Problemy bezopasnosti na transporte: materialy XII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy 160-letiyu Belorusskoy zheleznoy dorogi, Gomel', 24–25 noyabrya 2022 g.: v 2 ch.* [Transportation safety issues: Proceedings of the XII International Research-to-Practice Conference devoted to the 160th Anniversary of the Belarusian Railways Gomel, 24–25 November 2022: 2 parts.]. Gomel: Belarus State University of Transport; 2022, Part 1. P. 348–351. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ubcwjg>.

10. Методика аттестации железнодорожных станций с автоматизированными горками с позиции обеспечения безопасности при роспуске вагонов-цистерн для перевозки опасных грузов 2 класса опасности (пропанобутановые смеси) [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 15 декабря 2017 г. № 1339. Доступ из АСПИЖТ [Metodika attestatsii zheleznodorozhnykh stantsiy s avtomatizirovannymi gorkami s pozitsii obespecheniya bezopasnosti pri rospuske vagonov-tsistern dlya perevozki opasnykh gruzov 2 klassa opasnosti (propanobutanovye smesi) [Methodology for the certification of railway stations with automated marshaling yards in terms of safe shunting of Class 2 dangerous goods tank cars (propane-butane mixtures)]. Approved by the Order of Russian Railways JSC dated 15 December 2017. No. 1339. (In Russ.). Accessed from ASPIZHIT].

11. Исследование влияния энергоемкости поглощающих аппаратов на динамико-прочностные характеристики несущих конструкций вагонов / В. И. Беляев [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2015. № 4. С. 25–32 [Belyaev V. I., Stupin D. A., Plotkin V. S., Stepanov A. N. Investigation of Draft-Gear Energy Absorption Capacity Effect on the Dynamic Structural Behavior of the Freight Cars' Supporting Structures. *Russian Railway Science Journal*. 2015;(4):25-32. (In Russ.)].

12. Ступин Д. А., Беляев В. И. Исследование влияния энергоемкости поглощающих аппаратов на продольные усилия в наливном поезде // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2016. Т. 75, № 3. С. 154–160 [Stupin D. A., Belyaev V. I. Research of influence of energy consumption of draft gears on longitudinal forces in the tank car train. *Russian Railway Science Journal*. 2016;75(3):154-160. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-3-154-160>.

13. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. 317 с. [Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh) [Norms for the calculation and design of railway carriages of the Ministry of Railways of the 1520 mm gauge (non-self-propelled)]. Moscow: GosNIIV-VNIIZhT; 1996. 317 p. (In Russ.)].

14. ГОСТ 32913–2014. Аппараты поглощающие сцепных и автосцепных устройств железнодорожного подвижного состава. Технические требования и правила приемки: дата введения 2015-06-01. М.: Стандартинформ, 2015. 12 с [ГОСТ 32913–2014. Apparaty pogloshchayushchie stsepykh i avtostsepykh ustroystv zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Tekhnicheskie trebovaniya i pravila priemki [Draft gears of coupler and automatic coupler devices of railway rolling stock. Technical specifications and acceptance rules]. Introduction date 2015-06-01. Moscow: Standartinform; 2015. 12 p. (In Russ.)].

15. ГОСТ 19433–88. Грузы опасные. Классификация и маркировка: дата введения 1990-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2004. 49 с. [ГОСТ 19433–88. *Gruzy opasnye. Klassifikatsiya i markirovka* [Dangerous goods. Classification and marking]. Introduction date 1990-01-01. Moscow: Publishing House of Standards; 2004. 49 p.].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дмитрий Алексеевич СТУПИН,

канд. техн. наук, заведующий лабораторией «Автосцепка», научный центр «Нетяговый подвижной состав и автотормозные системы поезда», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10), Author ID: 444575, <https://orcid.org/0000-0002-2929-4087>

Андрей Викторович САВРУХИН,

д-р техн. наук, доцент, профессор, кафедра «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте», Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ), 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9), Author ID: 5773, <https://orcid.org/0000-0002-7947-4801>

Роман Александрович ЕФИМОВ,

канд. техн. наук, доцент, кафедра «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте», Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ), 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9), Author ID: 674842, <https://orcid.org/0000-0003-4939-1105>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitriy A. STUPIN,

Cand. Sci. (Eng.), Head of the Autocoupler Laboratory, Non-Traction Rolling stock and Train Auto-Brake Systems Research Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 444575, <https://orcid.org/0000-0002-2929-4087>

Andrey V. SAVRUKHIN,

Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor, Department of Transport Security and Operating Management, Russian University of Transport (127994, Moscow, 9, bldg. 9, Obratsova St.), Author ID: 5773, <https://orcid.org/0000-0002-7947-4801>

Roman A. EFIMOV,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Transport Security and Operating Management, Russian University of Transport (127994, Moscow, 9, bldg. 9, Obratsova St.), Author ID: 674842, <https://orcid.org/0000-0003-4939-1105>

ВКЛАД АВТОРОВ

Дмитрий Алексеевич СТУПИН. Проведение экспериментальных исследований, обработка результатов испытаний (90%).

Андрей Викторович САВРУХИН. Разработка методики исследований, анализ результатов испытаний (8%).

Роман Александрович ЕФИМОВ. Обобщение результатов, оформление статьи (2%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Dmitriy A. STUPIN. Conducting experimental research, processing test results (90%).

Andrey V. SAVRUKHIN. Development of research methods, test result analysis (8%).

Roman A. EFIMOV. Generalisation of the results, design of the article (2%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 18.11.2022, рецензия от первого рецензента получена 22.11.2022, рецензия от второго рецензента получена 29.11.2022, принята к публикации 27.12.2022.

The article was submitted 18.11.2022, first review received 22.11.2022, second review received 29.11.2022, accepted for publication 27.12.2022.



ПАТЕНТЫ ВНИИЖТ

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАТИВНОГО РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСА НА ПОЕЗДКУ ПРИГОРОДНОГО МОТОРВАГОННОГО ПОЕЗДА

К. М. Попов, С. А. Виноградов

Изобретение относится к информационным системам определения и нормирования расхода топливно-энергетических ресурсов на поездку поезда. Способ определения нормативного расхода энергоресурса на поездку пригородного моторвагонного поезда заключается в измерении фактического расхода энергоресурса на разгон после каждой остановки, скорости в конце разгона, времени разгона и температуры атмосферного воздуха, определении количества совершенной механической работы на разгон и текущего значения массы моторвагонного поезда. Значения массы определяют дискретно в процессе каждого разгона, после чего усредняют их и определяют расчетный нормативный расход энергоресурса на поездку. Расчетный расход

энергоресурса на соблюдение микроклимата определяют с использованием текущих значений температуры атмосферного воздуха и коэффициентов влияния температуры на расход. После чего осуществляют сравнение фактического значения расхода энергоресурса с расчетным нормативным. Технический результат заключается в повышении точности и достоверности определения удельного норморасхода энергоресурса для пригородного участка. 1 з.п. ф-лы.

Патент на изобретение RU 2788656 C1, 24.01.2023.

Заявка № 2022117143 от 24.06.2022.

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50265697>

По вопросам использования интеллектуальной собственности обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, Научно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (495) 602-83-01, e-mail: journal@vniizht.ru, www.vniizht.ru



ТРУДЫ ВНИИЖТ

Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Управление содержанием подвижного состава. Том 1. Грузовые вагоны / пер. с англ. под ред. С. М. Захарова. — Москва : АО «ВНИИЖТ», 2021. — 456 с.

Рассмотрены базовые аспекты, связанные с созданием и эксплуатацией грузовых вагонов. Приведены общие соображения, касающиеся способов повышения провозной способности железных дорог, производительности перевозочного процесса. Представлен пример обзора конструкций грузовых вагонов. Даны методические основы анализа и испытаний, проводимых с целью выяснения эксплуатационного ресурса по усталостной долговечности грузовых вагонов и их компонентов. Приведены экономические соображения, касающиеся применения затрат жизненного цикла для определения суммарной стоимости владения вагоном до конца срока службы. Кратко описаны современные методы компьютерного

моделирования усталостных проявлений в контактах качения и процедуры испытаний. Освещается передовой опыт контроля технического состояния, технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов. Рассмотрены мероприятия технического обслуживания и ремонта и особенности нормативно-правового регулирования технической эксплуатации грузовых вагонов разных стран. Описаны средства мониторинга технического состояния грузовых вагонов и поездов непосредственно в процессе движения. Приведена информация о ряде напольных систем мониторинга.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся вопросами железнодорожного транспорта, и студентов, изучающих данные проблемы.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, Научно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (495) 602-83-01, e-mail: journal@vniizht.ru, www.vniizht.ru