

**Учреждение образования
«Белорусский государственный университет транспорта»**

УДК 656.073

**ЧАГАНОВА
Оксана Сергеевна**

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОХРАННОСТИ
ТАРНО-УПАКОВОЧНЫХ ГРУЗОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ НА ОСНОВЕ УЧЕТА
НЕЛИНЕЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ КРЕПЛЕНИЯ**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

по специальности 05.22.08 – Управление процессами перевозок

Гомель, 2019

Работа выполнена в Учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта» (БелГУТ)

Научный руководитель **Еловой Иван Александрович,**
доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление грузовой и коммерческой работой», БелГУТ, г. Гомель

Официальные оппоненты **Числов Олег Николаевич,**
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Станции и грузовая работа» ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону

Васильев Степан Михайлович
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Вагоны» БелГУТ, г. Гомель

Оппонирующая организация **Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника»**

Защита состоится 12 декабря 2019 года в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.27.01 при Учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта» по адресу: 246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, ауд. 250.

E-mail: cherninri@tut.by Тел. (232) 95-37-91.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке БелГУТа

Автореферат разослан «11» ноября 2019 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат технических наук, доцент

Р. И. Чернин

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях рынок транспортных услуг с позиций клиентов характеризуется схемами доставки грузов, в которых могут участвовать один или несколько видов транспорта. В свою очередь схема доставки груза описывается такими показателями как провозные платежи, продолжительность и сохранность перевозки грузов, уровень транспортно-экспедиционного обслуживания. Одна из причин переключения перевозок ценных грузов с железнодорожного на автомобильный транспорт связана с несохранностью таких грузов, обусловленной ненадежным креплением. В своем большинстве тарно-упаковочные грузы относятся к ценным и хрупким, поэтому обеспечение их сохранности в процессе перевозки приобретает особую актуальность. Кроме того, обеспечение надежности крепления грузов на железнодорожном транспорте относится к одному из важнейших факторов в части обеспечения безопасности движения поездов.

Существенное влияние на сохранность груза в процессе его транспортировки железнодорожным транспортом оказывает наличие у вагонов стран СНГ более жесткой автосцепки и отсутствие буферных устройств для гашения продольных сил при соударении по сравнению с западноевропейскими вагонами. Наличие недостатков в конструкции и содержании сортировочных горок также зачастую приводит к повреждению как вагонов и контейнеров, так и находящихся внутри них тарно-упаковочных грузов. Данные условия требуют дополнительных затрат на проведение маневровых операций на станции и более совершенных креплений, предотвращающих смещения груза в продольном направлении при его доставке. Перечисленные обстоятельства, наряду с постоянным увеличением номенклатуры тарно-упаковочных грузов, вызывают необходимость разработки новых реквизитов крепления и совершенствования методик их расчета. В частности, для обеспечения сохранности грузов перспективно использование пневмооболочек.

В методике расчета, приведенной в Технических условиях размещения и крепления грузов (Приложение 3 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС)), заложен большой запас прочности креплений, что во многом обусловлено отсутствием исследований в части рассмотрения динамики системы «груз – упаковка – вагон». Поэтому зачастую происходит перерасход крепежных материалов и, как следствие, увеличиваются расходы грузоотправителей и грузополучателей. Однако и в данных условиях вследствие больших нагрузок на средства крепления и упаковку сохранность самого груза при перевозке не обеспечивается, что ведет к дополнительным потерям клиентов и железнодорожных перевозчиков. С учетом указанных обстоятельств возникает ряд задач по определению параметров креплений, при которых одновременно обеспечивается сохранность самого груза, целостность его упаковки и исправность подвижного состава. Таким образом, исследование процессов взаимодействия тарно-упаковочного груза, перевозимого в крытом вагоне (контейнере), с упаковкой и креплениями, актуально и востребовано в настоящее время.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами.

Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016–2020 годы, утвержденным Указом Президента Республики Беларусь № 166 от 22 апреля 2015 г., п. 3 «Промышленные и строительные технологии и производство» в части «Скоростные и высокоскоростные транспортные системы и коммуникации»; «Транспортные технологии, технологии транспортной безопасности, транспортно-логистические системы и инфраструктура», и приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 годы, утвержденным Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 190 от 12 марта 2015 г., п. 7 «Системы и комплексы машин».

Исследования по теме диссертации проводились в рамках задания 2.26 ГКПНИ «Механика» № ГР 20063126, 2006–2010 гг.; задания 1.15 ГПНИ «Механика, техническая диагностика, металлургия» № ГР 20111892, 2011–2012 гг.; задания 1.24 ГПНИ «Механика, техническая диагностика, металлургия» № ГР 20130803, 2013–2015 гг.; задания 1.39 ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении» № ГР 20172068, 2017–2019 гг. В 2008 г. осуществлялась работа над НИР в соответствии с хозяйственными договорами на создание технической продукции (хозяйственный договор с ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»).

Цель и задачи исследования

Цель исследования – повышение сохранности тарно-упаковочных грузов и безопасности их транспортировки при перевозке железнодорожным транспортом на основе совершенствования крепления грузов в вагонах и контейнерах.

Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи**:

- разработка новых математических и компьютерных моделей крепления грузов в движущемся вагоне, которые учитывают нелинейно-упругие и диссипативные связи между вагоном и упаковкой, упаковкой и грузом;
- определение параметров средств крепления, при которых обеспечивается безопасная и сохраняющая транспортировка грузов в крытых вагонах и контейнерах;
- создание аналитических, твердотельных и конечноэлементных моделей, позволяющих учесть деформации упаковки и средств крепления груза при соударении вагонов с целью оценки их прочности;
- установление рациональных областей использования пневмооболочек в качестве средств крепления грузов на железнодорожном подвижном составе.

Научная новизна:

- разработка модели системы «груз – упаковка – вагон», отличающейся учетом параметров упруго-диссипативных связей между элементами этой системы, позволившей обосновать выбор средств крепления грузов в крытых вагонах и контейнерах;

– решение задачи комплексного анализа прочности средств крепления и упаковки тарно-упаковочного груза на основе динамических и конечноэлементных моделей, которые учитывают параметры связей между элементами системы «груз – упаковка – вагон», позволяющее достигнуть синергетического эффекта при доставке груза потребителю;

– обоснование областей использования пневмооболочек, при которых обеспечивается сохранность, безопасность и экономическая эффективность транспортировки тарно-упаковочных грузов железнодорожным транспортом.

Положения, выносимые на защиту

1 Математические модели системы «груз – упаковка – вагон», учитывающие нелинейно-упругие деформации связей между ее элементами, которые позволили получить зависимости, характеризующие влияние жесткости связей на ускорение груза и рекомендовать использование связей с мягкими характеристиками в качестве креплений грузов.

2 Результаты комплексного анализа прочности и жесткости системы «груз – упаковка – вагон» при соударении вагонов, выполненного с применением аналитических, твердотельных и конечноэлементных моделей, которые позволили рекомендовать применение пневмооболочек для крепления тарно-упаковочных грузов.

3 Обоснование рациональности использования пневмооболочек в качестве средств крепления тарно-упаковочного груза, обеспечивающих его сохранность, на основе применения интегрального критерия, учитывающего экономические и технологические аспекты при транспортировке грузов железнодорожным транспортом.

Личный вклад соискателя ученой степени. Диссертация является законченным научным исследованием, выполненным автором самостоятельно на основе изучения отечественного и зарубежного опыта, включая апробацию собственных разработок в хозяйственной практике и учебном процессе. Все основные результаты работы, выносимые на защиту, получены автором лично. Отдельные результаты, которые не вошли в выносимые на защиту положения, получены автором совместно с соавторами научных публикаций.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Основные положения и результаты диссертационного исследования были доложены и обсуждены на конференциях «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях» (Гомель, 2003), «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» (Гомель, 2003), «Проблемы безопасности на транспорте» (Гомель, 2007); на международных конференциях: «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии в машиностроении» (Минск, 2002 – 2004), «Политранспортные системы» (Красноярск, 2006), «Modeling of the Mechanics and Mechatronics Systems MAMS'2008» (Кошице, 2008), «Machine Modeling and Simulations»

(Словакия, 2013), «2nd International Conference on Mechanical Engineering and Robotics Research ICMERR 2017» (Париж, Франция, 2017).

Опубликование результатов диссертации. Основное содержание диссертации опубликовано в 21 научной работе (8,1 а. л.), в том числе 9 статьях (4,9 а. л.) в изданиях, рекомендованных ВАК Республики Беларусь, из которых 4 за рубежом, 5 без соавторства; 7 статей в научно-технических сборниках и материалах конференций; 5 тезисах докладов на конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, содержания, 4 глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Общий объем диссертации составляет 148 страниц. Работа содержит 65 рисунков и 10 таблиц. Библиографический список включает 170 наименований и занимает 17 страниц. Приложения размещены на 30 листах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В главе 1 «Аналитический обзор литературы по теме диссертации» на основе анализа опубликованных различными авторами работ определены недостаточно изученные аспекты, связанные с креплением тарно-упаковочных грузов.

Обширные исследования по расчетам средств крепления проводились, начиная с середины двадцатого века, Г. П. Ефимовым, А. Д. Маловым, А. А. Смеховым, Х. Т. Турановым и многими другими учеными-транспортниками. Были экспериментально установлены максимальные ускорения, которые следует принимать во внимание при разработке креплений. Выполненные исследования показали, что существующие методики расчета элементов креплений не всегда позволяют обеспечить безопасную, сохранную и экономически выгодную перевозку грузов, а также избежать перерасхода крепежных средств.

Значительное внимание различным аспектам крепления конкретных жестких грузов было уделено в работах Е. К. Коровяковского, С. А. Егорова, Н. С. Войтюк, М. А. Зачешигривы, Д. Ю. Королевой, В. А. Болотина, Н. Г. Янковской, Л. А. Манашкина, V. Rouillard, B. Jarimoras и др. Некоторые вопросы сохранения целостности упаковки и помещенного в нее груза в процессе перевозки были рассмотрены в статьях Н. Е. Глотова, А. М. Котенко, А. А. Глазуновой, С. А. Баннова, В. М. Монастырного, Z.-W. Wang, M. Kornhauser, M. S. Hundal, D. V. Caletka, G. Burgess, M. Xiang, A.-J. Chen и др.

Проведенный анализ показал, что недостаточное внимание уделено креплению грузов в крытых вагонах и контейнерах, где перевозят наиболее ценные и хрупкие тарно-упаковочные грузы. Кроме того, практически отсутствуют исследования по использованию пневмооболочек для крепления грузов на железнодорожном транспорте, которые давно получили широкое

распространение за рубежом при перевозке грузов различными видами транспорта. Некоторые аспекты использования гибких оболочек на железнодорожном транспорте были рассмотрены В. А. Бураковым, однако для крепления грузов они не предлагались. На железных дорогах колеи 1520 мм с 01.07.2015 года вступили в силу Технические условия размещения и крепления грузов (Приложение 3 к СМГС), где в главе 11 описаны способы размещения и крепления грузов в крытых вагонах, включающие использование пневмооболочек. Несмотря на возможную широкую область применения пневмооболочек, вопрос о рациональном их использовании при разработке схем размещения и крепления тарно-упаковочных грузов в железнодорожном транспорте колеи 1520 мм до конца не изучен с учетом технических характеристик, включая автосцепку наших вагонов.

Во **второй главе** «Разработка математических моделей креплений грузов в движущемся вагоне» решалась задача об определении влияния параметров крепления и свойств упаковочной тары на динамику системы «груз – упаковка – вагон».

Схемы разработанных креплений должны обеспечивать неподвижность груза под действием сил инерции. Для учета особенностей свойств различных материалов, из которых изготавливается упаковочная тара и средства крепления груза, разработана обобщенная расчетная схема (рисунок 1), включающая перевозимый груз 1, упаковку 2 и кузов вагона 3. При соударении вагонов имеют место значительные смещения транспортируемого груза. От представленных ранее в литературе рассматриваемая модель отличается учетом нелинейных упругих деформаций, при которых сила упругости определяется выражением

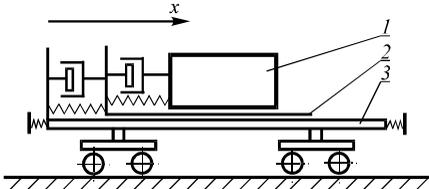
$$F_{\text{упр}} = kx^n, \quad (1)$$

где k – коэффициент жесткости, Н/м ^{n} ; x – величина деформации, м (при отсутствии начальной деформации, значение x соответствует смещению рассматриваемого объекта); n – показатель степени, который зависит от физических свойств и геометрии упаковки и креплений. Связи с $n < 1$ относят к связям с мягкими характеристиками, при $n > 1$ – с жесткими.

Помимо этой силы в расчетной схеме (рисунок 2) также учитываются силы неупругого сопротивления движению груза относительно упаковки и упаковки относительно вагона

$$F_{\text{сопр}} = \alpha \dot{x}, \quad (2)$$

где α – коэффициент удельного сопротивления, Н·с/м; точка над переменной обозначает производную по времени, а также силы сухого трения $F_{\text{тр}}$. Индекс 1 здесь и далее обозначает силы, относящиеся к связи «груз – упаковка», 2 – к связи «упаковка – вагон».



1 – груз, 2 – упаковка, 3 – кузов вагона
Рисунок 1. – Расчетная схема вагона с грузом

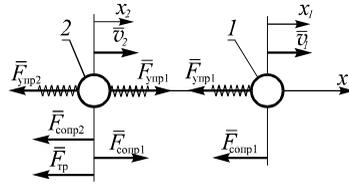


Рисунок 2. – Расчетная схема для составления математической модели взаимодействия элементов системы «груз – упаковка – вагон»

В процессе диссертационного исследования получена система дифференциальных уравнений второго порядка, описывающая движение и взаимодействие груза и упаковки

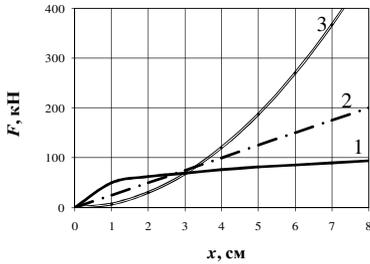
$$\begin{cases} \ddot{x}_1 = \frac{k_1}{m_1}(x_2 - x_1)^{n_1} + \frac{\alpha_1}{m_1}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1), \\ \ddot{x}_2 = -\frac{k_1}{m_2}(x_2 - x_1)^{n_1} - \frac{k_2}{m_2}x_2^{n_2} - \frac{\alpha_1}{m_2}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - \frac{\alpha_2}{m_2}\dot{x}_2 - \frac{F_{\text{тр}}}{m_2}, \end{cases} \quad (3)$$

где m_i , \ddot{x}_i – соответственно массы и ускорения каждого тела системы.

Для численных расчетов значения коэффициента жесткости k в зависимости от показателя степени n были приняты исходя из условия, чтобы работы сил упругости при смещении груза массы m на заданное расстояние (например, $x_{\max} = 5$ см) были одинаковыми, а ускорение, определяющее силу, действующую на вагон со стороны груза в случае $n = 1$, не превышало $3,5g$ (g – ускорение свободного падения, м/с^2). Учет этих условий привел к выражению

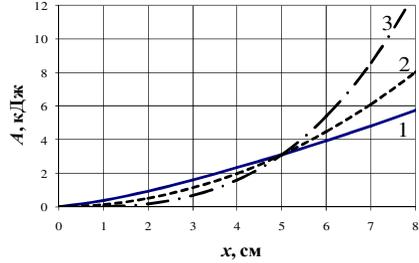
$$k = \frac{mv_0^2}{2} \cdot \frac{n+1}{x_{\max}^{n+1}}, \quad (4)$$

При этом условии начальная кинетическая энергия груза, движущегося с начальной скоростью v_0 , полностью преобразуется в потенциальную энергию связи при смещении на расстояние x_{\max} для любого показателя степени n . На рисунках 3 и 4 представлены зависимости силы упругости и ее работы от деформации связей для различных значений показателя степени n , соответствующих принятым условиям и массе $m = 1000$ кг. Пересечение графиков работы силы упругости наблюдается при $x = x_{\max}$ (см. рисунок 4), в то время как значения силы упругости оказались весьма близкими при смещении груза $x = 0,6 \cdot x_{\max} = 3$ см (см. рисунок 3).



1 – $n = 0,3$, 2 – $n = 1$, 3 – $n = 2$

Рисунок 3. – Зависимость силы упругости от деформаций связей при разных показателях степени n



1 – $n = 0,3$, 2 – $n = 1$, 3 – $n = 2$

Рисунок 4. – Зависимость работы силы упругости от деформаций связей при разных показателях степени n

Выполнено несколько вариантов расчета по полученной модели в соответствии с системой уравнений (3). При учете только сил упругости установлено, что увеличение показателя степени n_1 в выражениях смещения ведет к росту ускорения груза и при $n_1 = n_2 = 4$ достигает величины $30g$.

Изменение коэффициентов жесткости практически не влияет на смещение груза относительно упаковки и ведет к перемещению упаковки относительно пола вагона. Увеличение показателя степени n_2 для связи между упаковкой и вагоном, приводит к росту ускорения груза (рисунок 5).

Ускорение груза резко растет при значениях показателя степени n_2 от 0 до 1, а далее на участке от 1 до 4 наблюдается плавное увеличение ускорения. При наличии жесткой связи между упаковкой и грузом с показателем степени $n_1 = 4$ и постоянном значении k_1 появляется локальный минимум с ускорением, превышающим $13g$ (рисунок 6). При увеличении значений k_1 в случае постоянного коэффициента жесткости k_2 на графиках ускорения сохраняется наличие локального минимума. Однако величина соответствующего ему ускорения возрастает с увеличением значений k_1 [1, 3, 15].

Анализ результатов расчета по этому варианту модели показал, что с точки зрения минимизации ускорения груза наиболее приемлема характеристика упругой связи, которая соответствует показателю степени n_1 от 0,3 до 1,0 (т. е. мягкая характеристика), обеспечивающая наименьшие значения ускорения груза при ударных нагрузках и создающая наилучшие условия для сохранной перевозки. Следует отметить, что при увеличении коэффициента жесткости связи между грузом и упаковкой ускорение груза растет значительно, чем при изменении коэффициента жесткости связи между упаковкой и вагоном [13, 15, 17]. Это следует учитывать при разработке упаковки грузов.

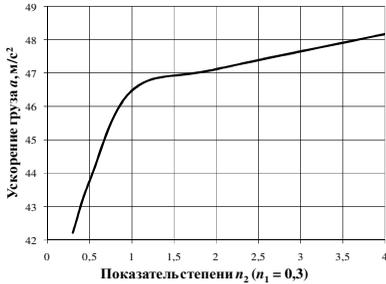


Рисунок 5. – Зависимость ускорения груза от показателя степени n_2 (модель учитывает наличие только сил упругости) при $n_1 = 0,3$

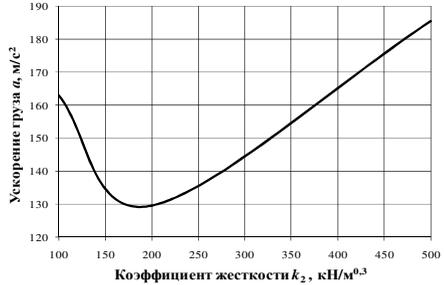


Рисунок 6. – Зависимость ускорения груза от коэффициента жесткости k_2 для $n_1 = 4$ (модель учитывает наличие только сил упругости) при $k_1 = 250$ ГН/м⁴

При учете не только сил упругости, но и сил сопротивления (рисунки 7 и 8) установлено, что наиболее приемлемой характеристикой упругой связи между вагоном и упаковкой обладает связь с мягкой характеристикой с показателем степени $n = 0,3$, обеспечивающая наименьшие значения ускорения груза при ударных нагрузках и создающая наилучшие условия для сохранной перевозки. При увеличении коэффициента жесткости связи между вагоном и упаковкой тарно-упаковочного груза ускорение груза растет более резко, чем при изменении коэффициента жесткости связи между грузом и его упаковкой [4, 11].

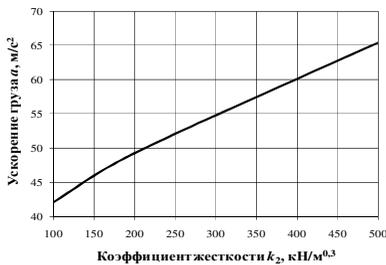


Рисунок 7. – Зависимость ускорения груза от коэффициента жесткости k_2 (связь «упаковка – вагон») при $k_1 = 100$ кН/м^{0,3}

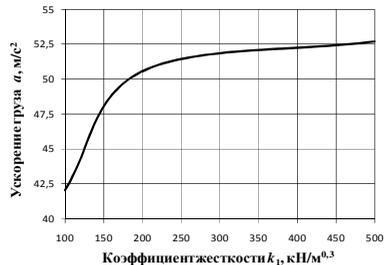


Рисунок 8. – Зависимость ускорения груза от коэффициента жесткости k_1 (связь «груз – упаковка») при $k_2 = 100$ кН/м^{0,3}

Зависимости ускорения от коэффициентов удельного сопротивления (рисунки 9 и 10) показали, что увеличение соответствующих коэффициентов между грузом и упаковкой, а также упаковкой и вагоном приводит к существенному увеличению ускорения груза, поэтому введение специальных демфирующих устройств в систему нецелесообразно.

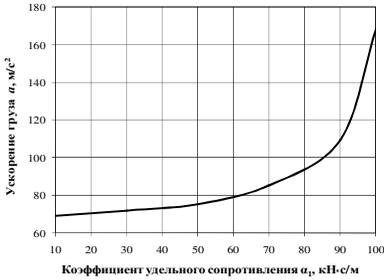


Рисунок 9. – Зависимость ускорения груза от коэффициента удельного сопротивления a_1 при $k_1=k_2=2 \cdot 10^5$ Н/м^{0,3}, $a_2 = 10$ кН·с/м

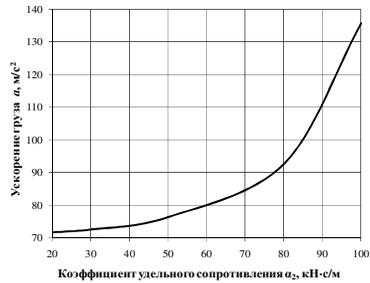


Рисунок 10. – Зависимость ускорения груза от коэффициента удельного сопротивления a_2 при $k_1=k_2=2 \cdot 10^5$ Н/м^{0,3}, $a_1 = 10$ кН·с/м

При дополнительном учете силы сухого трения расчетное значение ускорения груза уменьшается. Из рисунков 11 и 12 видно, что рост ускорения груза при малых значениях коэффициента жесткости происходит быстро, а далее имеет более монотонный характер. Также из указанных рисунков видно, что при мягкой характеристике связи между упаковкой и грузом ускорение груза возрастает несущественно и, достигнув значения 5g, остается почти постоянным при увеличении коэффициента жесткости крепления упаковки к полу вагона (при $k_1 = 10^5$ Н/м^{0,3}). Следовательно, наиболее приемлемой является связь с мягкими характеристиками [2, 11, 16, 18].

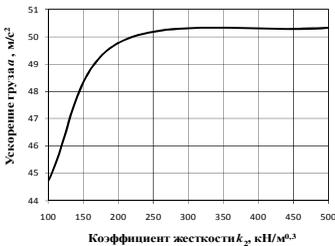


Рисунок 11. – Зависимость ускорения груза от коэффициента жесткости k_2 (связь «упаковка – вагон») при $k_1=10^5$ Н/м^{0,3}

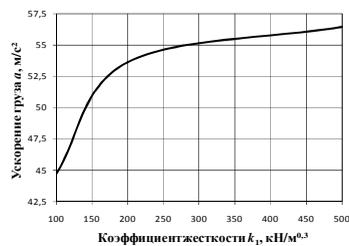


Рисунок 12. – Зависимость ускорения груза от коэффициента жесткости k_1 (связь «груз - упаковка») при $k_2=10^5$ Н/м^{0,3}

Таким образом, полученные результаты расчетов по разным вариантам модели показали, что наиболее приемлемыми для крепления грузов в крытом вагоне являются связи с мягкими характеристиками при показателях степени n от 0,3 до 1,0. Полученным свойствам, в частности, удовлетворяют пневмооболочки. В рассматриваемом случае, ускорения возрастают не так интенсивно, как при $n \geq 1$, а перемещения не превышают допустимые. Связи с показателями степени $n < 0,3$ не позволяют креплениям обеспечить сохранность груза при проведении поездных и маневровых работ с вагоном, в том числе при роспуске с горки, из-за недопустимо больших перемещений.

В главе 3 «Анализ прочности упаковки груза, закрепленного в вагоне» исследуется сохранность упаковки и тарно-упаковочных грузов при соударении вагонов на сортировочных горках в процессе транспортировки.

Особенностью некоторых грузовых мест является наличие пустот внутри упаковки жесткого груза. В таких случаях чрезмерная сила натяжения средств крепления может приводить к повреждению упаковки и, как следствие, самого груза. С целью исследования возможности обеспечения сохранной транспортировки в вагонах картонных коробов с размещенными в них в несколько рядов по ширине и высоте тарно-упаковочными грузами,

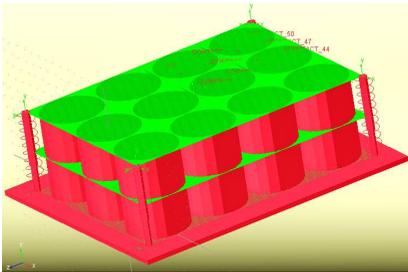


Рисунок 13. – Модель поддона с размещенными на нем катушками с металлокордом в среде программного комплекса MSC.ADAMS

с помощью программного комплекса виртуального моделирования сложных машин и механизмов MSC.ADAMS разработаны компьютерные модели, описывающие динамику грузового места, включающие цилиндрические тела, разделенные сепараторами и размещенные внутри картонной упаковки (рисунок 13).

Рассматривались перемещения одного ряда грузов, лежащего в продольной вертикальной плоскости. Исследовались модели с различным количеством грузов в горизонтальных рядах и разным количеством рядов. При этом изучался случай торможения, при котором поддон с грузом движется с ускорением $3,5 g$, которое принимается при расчете вагона на прочность. Установлено, что после удара максимальное смещение центра масс верхней катушки с металлокордом в рассматриваемой модели относительно поддона в продольном направлении достигает $0,18$ м (рисунок 14). После ряда колебаний смещение данной катушки устанавливается на значении $0,1$ м. Однако это перемещение является недопустимым для сохранения целостности упаковки груза.

На рисунке 15 показано изменение значений сил, возникающих в пружинах, описывающих упаковку тарно-упаковочного груза. Максимальное значение силы достигает значения $2,7$ кН в момент времени $0,1$ с. Большие амплитуды колебания этой силы свидетельствуют о повышенных инерционных нагрузках, которые испытывают катушки, упаковка и средства крепления, что приводит к их повреждению в процессе транспортировки. К моменту времени $0,8$ с значение силы устанавливается на уровне $1,8$ кН. Значения сил, полученные с помощью программного комплекса MSC.ADAMS, использованы в качестве исходных данных для дальнейших исследований и компьютерного моделирования в программном комплексе ANSYS.

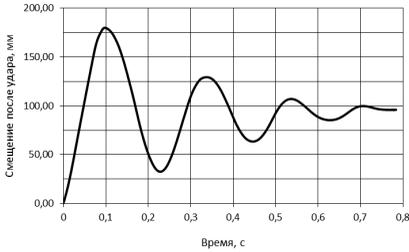


Рисунок 14. – Смещение центра масс верхней катушки относительно поддона в продольном направлении



Рисунок 15. – Силы в пружинах, моделирующих упаковку

Выполнение уточненного анализа прочности упаковки потребовало определения механических свойств упаковочных материалов. В результате проведенных на установке INSTRON 5567 испытаний обвязочной ленты получено (рисунок 16), что при фактических размерах поперечного сечения образца (10,5×0,7 мм) предел прочности при растяжении равен 331 МПа и соответствует разрывной силе 2435 Н [7, 12]. Таким образом, реальное значение разрывной силы обвязочной ленты оказалось меньше 2670 Н, заявленных в технической документации на ленту. Определено, что реальное значение максимального относительного удлинения ленты составляет 21 %, при том, что в документации указано 12 %. Это может приводить к ослаблению натяжения обвязочной ленты при соударении вагонов и последующему нарушению целостности упаковки при нагрузках, меньших расчетной.

Проведены эксперименты по определению механических свойств картона марки П-35, используемого для изготовления упаковочных коробов. Испытания проводились для образцов картона при изгибе вдоль и поперек гофры картона. Полученные зависимости сил от деформаций приведены на рисунке 17.

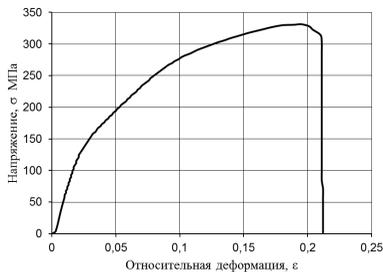


Рисунок 16. – Диаграмма растяжения ленты Терах 1718 [7]

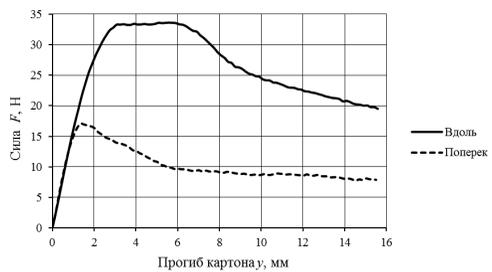


Рисунок 17. – График деформации образца картона при изгибе вдоль и поперек гофры картона [7]

Кроме того, получены диаграммы растяжения по направлению вдоль и поперек ленты клейкой универсальной (упаковочный скотч) (рисунки 18 и 19). Образцы для проведения испытаний имели следующие параметры: рабочая длина 50 мм, ширина 25 мм, толщина 0,03 мм. Скорость деформирования образцов составила 200 мм/мин. Установлено, что наибольшее значение напряжения, которое может выдержать материал без разрушения (предел прочности) для образца, растягиваемого вдоль ленты, составляет 60,3 МПа (рисунок 18), а для образца, растягиваемого поперек ленты, 88,4 МПа (рисунок 19) [7, 12].

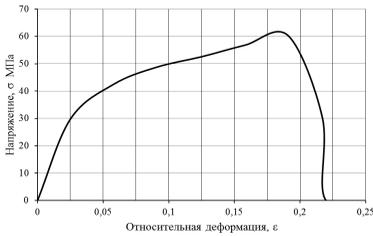


Рисунок 18. – Диаграмма растяжения ленты клейкой универсальной по направлению вдоль ленты

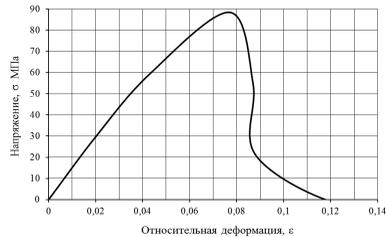


Рисунок 19. – Диаграмма растяжения ленты клейкой универсальной по направлению поперек ленты

В программном комплексе ANSYS была выполнена разработка конечно-элементных моделей деформирования крышки картонного короба упаковки и сепараторов, расположенных между катушками. При создании конечно-элементной сетки приняты тетраэдральные элементы SOLID187 и SOLID185. Так как места контакта рассматриваемых деталей имеют сложную форму, то автоматическая генерация сетки конечных элементов приводила к появлению элементов с большим соотношением длин ребер, поэтому были предприняты дополнительные меры для создания регулярной сетки конечных элементов, обеспечивающей более высокую точность расчетов. Кроме того, в местах контакта частей конструкции выполнено более мелкое разбиение на конечные элементы с целью нахождения распределения контактных давлений, касательных контактных напряжений (рисунки 20 и 21).

Результаты моделирования картонного короба в месте, где проходит обвязочная лента (см. рисунок 20), показали, что наибольшие напряжения возникают в месте сгиба картона (рисунок 22). Продавливание картона происходит на ребре верхней части коробки в области соприкосновения ленты и упаковки из-за воздействия обвязочной ленты. Расчеты показали, что при значении ускорения вагона 2,9g происходит повреждение короба, вызванное продавливанием картона, которое наступает в соответствии с ГОСТ 7376 для картона марки П-35 при значении напряжения 1,6 МПа, что значительно меньше максимального значения касательного напряжения, полученного в результате расчетов и составляющего 3,6 МПа.

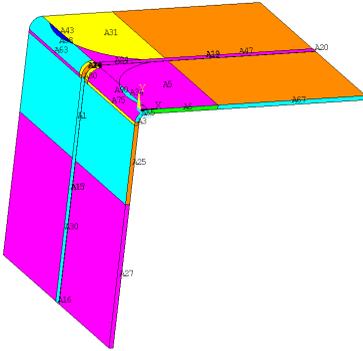


Рисунок 20. – Четверть картонного
короба с обвязочной лентой
(геометрическая модель)

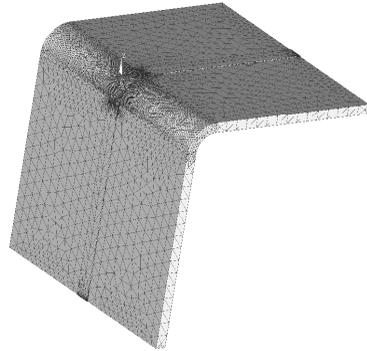


Рисунок 21. – Четверть картонного
короба с обвязочной лентой
(конечноэлементная модель)

Дополнительно выполненное моделирование напряженно-деформированного состояния мест взаимодействия катушек и сепараторов (рисунок 23) показало, что наибольшие напряжения в сепараторе, также как и деформации, наблюдаются по ободу углубления под катушку, и значительно меньше предела прочности. Максимальное напряжение, возникающее в сепараторе, не превышает 12,5 МПа. Аналогичные исследования были выполнены для случая, когда под обвязочную ленту на верхних углах картонного короба наклеивался скотч. При этом напряжения снижаются на 15–20 %, что позволяет обеспечить прочность конструкции при ударных нагрузках [19].

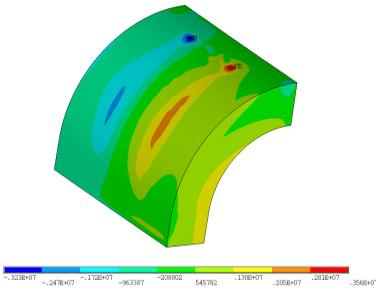


Рисунок 22. – Касательные напряжения τ_{xz}
на внешней поверхности картонного короба

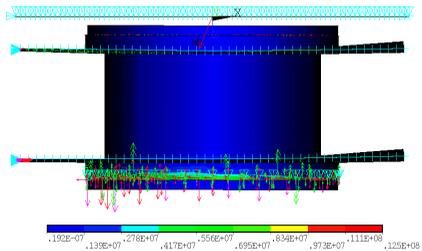


Рисунок 23. – Распределение напряжений
в сепараторе

Результаты исследования показали, что давление на короб со стороны сепаратора также относительно невелико и не приводит к повреждению упаковки, а для более равномерного распределения давления со стороны обвязочной ленты и обеспечения сохранности упаковки и груза целесообразно применение предлагаемого способа крепления с помощью пневмооболочек.

В главе 4 «Оценка рациональности использования пневмооболочек для крепления тарно-упаковочных грузов» выполнено обоснование условий, при которых крепление тарно-упаковочных грузов целесообразно осуществлять с помощью пневмооболочек.

Ранее на основе математического и компьютерного моделирования динамики системы «груз – упаковка – вагон» [4, 16] доказано, что наилучшая сохранность грузов при перевозке в крытом вагоне обеспечивается при наличии мягкой характеристики креплений, которой соответствуют пневмооболочки. Подбор их необходимого типа и размера по рекомендациям производителя требуется осуществлять на основании зависимости выдерживаемой нагрузки от величины заполняемого пространства. Причем, при выборе типа пакета необходимо учитывать не только указанные параметры, но и поперечный размер пневмооболочки, который должен быть примерно равным или немного большим площади боковой поверхности грузового места, возле которого она устанавливается. Расчет сил, действующих на пневмооболочки в поперечном и продольном направлении, необходимо производить в соответствии с методикой СМГС с учетом особенностей предлагаемого способа крепления: размера боковой поверхности груза, удерживаемого пневмооболочкой; необходимости установки сдвоенных пневмооболочек или по одной в разных рядах, если зазор между грузами больше 45 см. Причем, применение сдвоенных пневмооболочек не ведет к удвоению выдерживаемой ими нагрузки.

Проанализированы варианты расчета крепления груза в вагоне и контейнере с применением предлагаемого средства крепления на основе учета описанных особенностей. Для оценки рациональности использования пневмооболочек при креплении тарно-упаковочных грузов произведен анализ четырех наиболее часто применяемых схем их погрузки и крепления: 1) в вагоне с применением в качестве крепления деревянных брусков и щитов; 2) в вагоне с помощью деревянных щитов и пневмооболочек; 3) в контейнере с креплениями деревянными брусками и щитами; 4) в контейнере с креплениями деревянными щитами и пневмооболочками.

Оценка эффективности способов крепления была выполнена с применением интегрального критерия, учитывающего экономические и натуральные показатели: стоимость реквизитов крепления; продолжительность проведения работ по креплению груза; простой вагонов и контейнеров под грузовыми операциями; зарплата персонала, связанного с выполнением погрузочно-разгрузочных работ; обеспечение сохранности груза; условия труда при проведении погрузочно-разгрузочных работ; обеспечение сохранности подвижного состава; количество персонала, задействованного в креплении груза; многократность использования средств крепления; доступность материалов для изготовления для крепления; экологичность применяемых материалов.

Вследствие того, что тарно-упаковочные грузы являются дорогостоящими, доля транспортной составляющей в их цене незначительна. Поэтому

при оценке важности исследуемых показателей с помощью метода экспертных оценок было установлено, что самым весомым показателем является обеспечение сохранности перевозимого груза. Полученное значение коэффициента конкордации $W = 0,762$ указывает на высокую степень согласованности мнений экспертов. Стоимостные показатели не оказывают существенного влияния на цену груза у получателя. В результате исследования установлено, что для сравниваемых схем доставки и крепления грузов интегральный критерий эффективности составляет: схема 1 – 62,40 %; схема 2 – 93,42 %; схема 3 – 69,92 %; схема 4 – 87,50 %. Таким образом, наиболее выгодным вариантом доставки тарно-упаковочного груза для грузоправителя является транспортировка его в соответствии со схемами 2 и 4, т.е. перевозка тарно-упаковочного груза в вагоне и контейнере с использованием в качестве креплений пневмооболочек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1 Разработана математическая модель динамики системы «груз – упаковка – вагон», отличающаяся выделением упаковки как отдельного элемента, взаимодействующего с грузом и вагоном через связи с нелинейно-упругими и диссипативными свойствами. С ее помощью установлены зависимости, характеризующие влияние параметров связей между грузом, упаковкой и вагоном на значение ускорения груза [1, 2, 3, 4, 6, 11, 12]. Показано, что наиболее эффективными с точки зрения минимизации ускорения груза являются крепления с мягкими характеристиками показателя степени n , характеризующих их нелинейность, от 0,3 до 1,0. В таком случае ускорения возрастают не так интенсивно, как при жестких характеристиках связей, а перемещения не превышают допустимые [4, 6, 13, 15, 16, 17, 18]. Полученным свойствам удовлетворяют, в частности, пневмооболочки.

2 С помощью программного комплекса MSC.ADAMS разработаны компьютерные модели, описывающие динамику тарно-упаковочного груза, включающие цилиндрические тела, разделенные сепараторами и размещенные внутри картонной упаковки, и отличающиеся от существующих ранее тем, что рассматривают в системе груз, упаковку и вагон. Установлено, что при ударе максимальное смещение груза в продольном направлении достигает 0,18 м, а максимальные значения сил, действующих на упаковку, составляют 2,7 кН. Большие амплитудные значения сил свидетельствуют о повышенных инерционных нагрузках, которые испытывают перевозимый груз, упаковка и средства крепления, что может приводить к их повреждению в процессе транспортировки [8, 19].

3 Выполнено конечноэлементное моделирование напряженно-деформированного состояния элементов упаковки под действием нагрузок, найденных при расчетах в MSC.ADAMS. В результате экспериментальных исследований механических характеристик упаковочных материалов: обвязочной

ленты, картона П-35 и ленты клейкой универсальной, получено, что фактические значения предела прочности оказались около 10 % меньшими заявленных в технической документации [7, 8, 19]. Установлено, что при значениях ускорения вагона, превышающих 2,9 g, наблюдаются повреждения картонного короба, обусловленные действием сдвиговых напряжений. В месте контакта обвязочной ленты и крышки картонного короба наблюдаются максимальные значения касательного напряжения 3,6 МПа и эквивалентного напряжения 11 МПа, что значительно больше предела прочности картона, составляющего 1,6 МПа. Изменение характеристик поверхности картона в местах перегиба под обвязочной лентой путем дополнительного его укрепления скотчем позволяет более равномерно распределить напряжения, возникающие в контакте между упаковочной лентой и картоном. При этом напряжения в картоне снижаются на 15–20 % [7, 8, 19]. На основании произведенных расчетов прочности упаковки и средств крепления тарно-упаковочного груза предложено применение пневмооболочек, которые удовлетворяют полученным параметрам связей, как связей с мягкими характеристиками [5, 6, 10, 14, 20]. Объединение в единую систему вагона, крепления и груза позволяет получить синергетический эффект, выражающийся в повышении сохранности перевозимого груза при использовании пневмооболочек.

4 Оценка рациональности использования для крепления груза в вагоне и контейнере пневмооболочек методом экспертных оценок показала высокую степень согласованности их мнений. Вследствие незначительности доли транспортной составляющей в цене груза наиболее важным показателем является сохранность груза. Исследование схем доставки и крепления грузов с применением интегрального критерия показало, что транспортировка тарно-упаковочного груза с применением в качестве крепления пневмооболочек в вагоне до 50 % , а в контейнере – до 25 % выгоднее, чем использование в качестве крепления брусков [9, 21].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанная методика расчета силовых воздействий на пневмооболочку может быть применена при расчете схем погрузки и крепления грузов в крытых вагонах и контейнерах. Использование данного способа крепления позволяет обеспечить сохранную перевозку ценных грузов по железной дороге и, как следствие, сократить количество претензий, предъявляемых к Белорусской железной дороге. Преимущества пневмооболочек, позволяющие повысить сохранность грузов в процессе перевозки, были подтверждены в ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»», ОАО «Сейсмотехника», ПУ «Нефтьснабкомплект» «ПО «Белоруснефть».

Результаты исследования также используются в учебном процессе Белорусского государственного университета транспорта при подготовке инженеров. Документы, подтверждающие использование результатов работы, приведены в приложениях к диссертационной работе.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК

1. Шимановский, А. О. Анализ динамических факторов, влияющих на тормозной путь вагонов при роспуске с сортировочной горки / А. О. Шимановский, О. С. Коломникова (О. С. Чаганова) // *Машиностроение : республик. межведомств. сб. науч. тр. / Белорус. гос. политехн. акад.* – Минск, 2002. – Вып. 18. – С. 527–530.

2. Шимановский, А. О. Моделирование динамических свойств упаковки массивных штучных грузов при перевозке железнодорожным транспортом / А. О. Шимановский, О. С. Коломникова // *Машиностроение : республик. межведомств. сб. науч. тр. / Белорус. гос. политехн. акад.* – Минск, 2003. – Вып. 19. – С. 734–737.

3. Коломникова, О. С. Колебания транспортируемого груза с учетом деформации упаковки / О. С. Коломникова // *Машиностроение : республик. межведомств. сб. науч. тр. : в 2 т. / Белорус. гос. политехн. академия.* – Минск, 2004. – Вып. 20. – Т. 2. – С. 219–223.

4. Shimanovsky, A. Modeling of vehicle dynamics considering load relative movement / A. Shimanovsky, A. Putsiata, O. Kolomnikova // *Acta Mechanica Slovaca.* – 2008. – № 3-B. – P. 691–703.

5. Чаганова, О. С. Анализ крепления штучных грузов с помощью пневматических пакетов / О. С. Чаганова // *Вестник Белорусского государственного университета транспорта. Наука и транспорт.* – 2009. – № 1 (18). – С. 38–41.

6. Чаганова, О. С. Анализ методов крепления штучных грузов в кузове вагона / О. С. Чаганова // *Транспорт. Наука, техника, управление.* – 2011. – № 5. – С. 51–56.

7. Chaganova, O. Modeling of the piece good's case paperboard loading during a boxcar's impact / O. Chaganova // *Technolog.* – 2013. – Vol. 5. – № 4. – P. 71–74.

8. Chaganova, O. S. Fastenings parameters determination for highly deformative cargo, taking into account its durability during transportation in cars and trains / O. S. Chaganova, I. A. Varazhun // *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research.* – 2018. – Vol. 7. – № 3. – P. 218 – 222.

9. Чаганова, О. С. Экономическая эффективность применения пневмооболочек при перевозке штучных грузов железнодорожным и автомобильным транспортом / О. С. Чаганова // *Вестник Белорусского государственного университета транспорта. Наука и транспорт.* – 2017. – № 2 (35). – С. 163–165.

Статьи в сборниках научных работ

10. Коломникова, О. С. Механические особенности крепления штучных

и тарно-упаковочных грузов в кузове транспортного средства / О. С. Коломникова // *Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки: междунар. сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2007. – Вып. 1. – С. 26–34.*

11. Коломникова, О. С. Влияние свойств упаковки и креплений на ускорение груза при соударении вагонов / О. С. Коломникова // *Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки: междунар. сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2008. – Вып. 2. – С. 42–48.*

12. Коломникова, О. С. Анализ прочности упаковки штучного груза под действием нормативных эксплуатационных нагрузок при перевозке железнодорожным транспортом / О. С. Коломникова // *Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки: междунар. сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2009. – Вып. 3. – С. 47–53.*

Материалы конференций

13. Коломникова, О. С. Моделирование маневровых соударений вагонов с учетом деформации устройств для крепления грузов / О. С. Коломникова // *Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях : материалы VI Республиканской науч. конф. студентов и аспирантов, Гомель, 17 – 19 марта 2003 г. / Гомельский гос. ун-т. – Гомель, 2003. – С. 24–25.*

14. Коломникова, О. С. Анализ методов крепления штучных и тарно-упаковочных грузов на транспортном средстве / О. С. Коломникова // *Политранспортные системы (Транспортные системы Сибири) : материалы IV Всероссийской науч.-техн. конф., Красноярск, 22–24 ноября 2006 г. : в 2 ч. / Красноярский гос. техн. ун-т. Красноярск, 2006. – Ч. 2. – С. 80–83.*

15. Коломникова, О. С. Влияние свойств связей в системе «груз – упаковочная тара – вагон» на ускорение груза при ударе / О. С. Коломникова // *Проблемы безопасности на транспорте : материалы IV Международ. науч.-практ. конф. / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2007. – С. 26–28.*

16. Коломникова, О. С. Обеспечение сохранности транспортируемых штучных грузов в вагонах / О. С. Коломникова // *Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : материалы II Международ. науч.-практ. конф. / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2008. – С. 66–67.*

Тезисы докладов

17. Коломникова, О. С. Колебание перевозимого груза в деформированной упаковке, при соударении вагонов / О. С. Коломникова // *Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : тезисы докладов Международ. науч.-практ. конф. : в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2003. – Ч. 1. – С. 97.*

18. Коломникова, О. С. Определение параметров системы «груз – упаковочная тара – вагон», обеспечивающих сохранность груза при ударе / О. С. Коломникова // Проблемы механики железнодорожного транспорта: безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава, энергосбережение : тез. докл. XII Междунар. конф., Днепропетровск, 28–30 мая 2008 г. / Днепропетровский национ. ун-т ж.д. транспорта. – Днепропетровск, 2008. – С. 72.

19. Чаганова, О. С. Анализ нагруженности картонной упаковки штучных грузов при соударении вагонов / О. С. Чаганова // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Беларус. гос. ун-т транспорта. – Гомель : БелГУТ, 2013. – С. 108.

20. Чаганова, О. С. Особенности перевозки штучных грузов в контейнерах морским транспортом / О. С. Чаганова, С. А. Петрачков // Металл 2017 : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. молод. работников / ОАО «БМЗ – управл. компан. холд. «Белорусская металлургическая компания». – Жлобин, 2017. – С. 42–44.

21. Чаганова, О. С. Сравнение вариантов транспортировки штучных грузов железнодорожным транспортом с использованием креплений разного типа / О. С. Чаганова // Проблемы безопасности на транспорте: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году науки : в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Беларус. гос. ун-т транспорта.– Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 66.

РЭЗІЮМЭ
Чаганавы Аксана Сяргеёна

**ЗАБЕСПЯЧЭННЕ ЗАХАВАНАСЦІ
ТАРНА-ЎПАКОВАЧНЫХ ГРУЗАЎ ПРЫ ПЕРАВОЗЦЫ
ЧЫГУНАЧНЫМ ТРАНСПАРТАМ НА АСНОВЕ ЎЛІКУ
НЕЛІНЕЙНЫХ ХАРАКТАРЫСТЫК СРОДКАЎ МАЦАВАННЯ**

Ключавыя словы: мацаванне, тарна-ўпаковачны груз, ударныя нагрузкі, вагон, нелінейна-пружкія дэфармацыі, пнеўмаабалочка.

Мэта даследавання: павышэнне захаванасці тарна-ўпаковачных грузаў і бяспекі іх транспарціроўкі пры перавозцы чыгуначным транспартам на аснове ўдасканалення мацавання грузаў у вагонах і кантэйнерах.

Метады даследавання: мадэляванне сістэмы цвёрдых тэл на аснове прымянення метадаў аналітычнай механікі, вылічальныя эксперыменты, звязаныя з аналізам дынамікі сістэмы «груз – ўпакоўка – вагон», эксперыментальнае вызначэнне характарыстык ўпаковачных матэрыялаў, конечноэлементны разлік дэфармавання упакоўкі і мацаванняў, метады экспертных ацэнак.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: прапанавана мадэль сістэмы «груз–ўпакоўка–вагон», адрозная ўлікам параметраў пружка-дыспатыўных сувязяў паміж элементамі гэтай сістэмы, якая дазволіла абгрунтаваць выбар сродкаў мацавання грузаў у крытых вагонах і кантэйнерах. Атрымана рашэнне задачы аб комплексным аналізе трываласці і калянасці сродкаў мацавання і ўпакоўкі тарна-ўпаковачнага грузу на аснове дынамічных мадэляў, якія ўлічваюць параметры сувязяў паміж элементамі сістэмы «груз – ўпакоўка – вагон». Выканана абгрунтаванне рацыянальнасці выкарыстання пнеўмаабалочак ў якасці сродку мацавання тарна-ўпаковачнага грузу.

Ступень выкарыстання і рэкамендацыі: метадыка разліку сілавых уздзеянняў на груз і сродкі мацавання можа быць прыменена пры разліку схем пагрузкі і мацавання грузаў у крытых вагонах і кантэйнерах. Перавагі пнеўмаабалочак, якія дазваляюць павысіць захаванасць грузаў у працэсе перавозкі, былі рэалізаваны ў ААТ «БМЗ – кіруючая кампанія холдынгу«БМК»». Вынікі даследавання таксама выкарыстоўваюцца ў навучальным працэсе Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта транспарту пры падрыхтоўцы інжынераў.

Вобласць ужывання: прамысловыя і іншыя прадпрыемствы, чыгуначны і аўтамабільны транспарт.

РЕЗЮМЕ**Чаганова Оксана Сергеевна****ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОХРАННОСТИ
ТАРНО-УПАКОВОЧНЫХ ГРУЗОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ НА ОСНОВЕ УЧЕТА
НЕЛИНЕЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ КРЕПЛЕНИЯ**

Ключевые слова: крепление, тарно-упаковочный груз, ударные нагрузки, нелинейно-упругие деформации, пневмооболочка.

Цель работы: повышение сохранности тарно-упаковочных грузов и безопасности их транспортировки при перевозке железнодорожным транспортом на основе совершенствования крепления грузов в вагонах и контейнерах.

Методы исследования: моделирование системы твердых тел на основе применения методов аналитической механики, вычислительные эксперименты, связанные с анализом динамики системы «груз – упаковка – вагон», экспериментальное определение характеристик упаковочных материалов, конечноэлементный расчет деформирования упаковки и креплений, метод экспертных оценок.

Полученные результаты и их новизна: предложена модель системы «груз – упаковка – вагон», отличающаяся учетом параметров упруго-диссипативных связей между элементами этой системы, позволившая обосновать выбор средств крепления грузов в крытых вагонах и контейнерах. Получено решение задачи о комплексном анализе прочности и жесткости средств крепления и упаковки тарно-упаковочного груза на основе динамических моделей, учитывающих параметры связей между элементами системы «груз – упаковка – вагон». Выполнено обоснование рациональности использования пневмооболочек в качестве средства крепления тарно-упаковочного груза.

Степень использования и рекомендации: методика расчета силовых воздействий на груз и средства крепления может быть применена при расчете схем погрузки и крепления грузов в крытых вагонах и контейнерах. Преимущества пневмооболочек, позволяющие повысить сохранность грузов в процессе перевозки, были реализованы в ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»». Результаты исследования также используются в учебном процессе Белорусского государственного университета транспорта при подготовке инженеров.

Область применения: промышленные и другие предприятия, железнодорожный и автомобильный транспорт.

SUMMARY
Chaganova Oksana Sergeevna

**THE CARGO IN PACKAGE SAFETY ENSURING DURING
RAILWAY TRANSPORTATION WITH TAKING INTO ACCOUNT
LINEAR CHARACTERISTICS OF THE TIE-DOWNS**

Keywords: tie-down, cargo, impact loading, nonlinear elastic deformations, dunnage bag.

Purpose of the research: to increase keeping quality and its safety during transportation by railway transport on the basis of the improvement of cargo's tie-down in the cars and containers.

Research methods: solid bodies' system modeling based on the analytical mechanics methods application, computational experiments related to the "cargo – package – car" system dynamic's analysis, experimental determination of packaging materials characters, the finite element's calculation of the package and tie-downs deformation, the method of expert estimations.

The obtained results and their originality: there is proposed the model of the "cargo – package – car" system, which is distinguished by taking into account the parameters of the elastic-dissipative links between the system elements. It allowed to substantiate the choice of cargo's fastening type in the cars and containers. The solution is obtained for the problem of complex analysis of the cargo's tie-down type in the cars and containers. Complex analysis is based on the dynamic models that take into account the link's parameters between the system elements of the "cargo – package – car". There is made the theoretical substantiation of the use areas for dunnage bags, ensuring the cargo safety.

Recommendations for use: the calculation method of the force effects on the cargo and tie-downs can be used for calculation of cargo loading scheme's and its fastening in cars and containers. Advantages of dunnage bags using allow to increase the cargoes safety during transportation and they were actualized in OJSC «BSW – management company of «BMC» holding». The research results are also used in the educational process for engineers in the Belarusian State University of Transport.

Field of application: industrial and other enterprises, automobile and rail transport.

Научное издание

ЧАГАНОВА Оксана Сергеевна

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОХРАННОСТИ
ТАРНО-УПАКОВОЧНЫХ ГРУЗОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ НА ОСНОВЕ УЧЕТА
НЕЛИНЕЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ КРЕПЛЕНИЯ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности

05.22.08 – Управление процессами перевозок

Подписано в печать 11.11.2019 г. Формат бумаги 60×84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 1,4. Тираж 90 экз. Зак. 4170.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/361 от 13.06.2014.

№ 3/1583 от 14.11.2017.

Ул. Кирова, 34, 246653. Гомель