

656.212  
B191

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

УДК 656.212.6.073.22.002.5

**ВАСИЛЬЕВ  
СТЕПАН МИХАЙЛОВИЧ**

**ПАРАМЕТРЫ ПОДВИЖНЫХ  
ТУРНИКЕТНО-КРЕПЁЖНЫХ УСТРОЙСТВ  
ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ГРУЗОВ  
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.22.08 – Управление процессами перевозок

Гомель, 2011



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

Научный руководитель

**Сенько Вениамин Иванович,**  
доктор технических наук, профессор,  
ректор УО «БелГУТ»

Официальные оппоненты

**Головнич Александр Константинович,**  
доктор технических наук, доцент, директор  
Научно-исследовательского института же-  
лезнодорожного транспорта (УО «БелГУТ»)

**Попов Виктор Борисович,**  
кандидат технических наук, доцент, заве-  
дующий кафедрой «Сельскохозяйственные  
машины» (Учреждение образования  
«Гомельский государственный техниче-  
ский университет имени П. О. Сухого»)


Опонирующая организация

Служба грузовой работы и внешнеэкономической деятельности Государственного объединения «Белорусская железная дорога»

в 14<sup>00</sup> часов на заседании совета по  
УО «БелГУТ» по адресу: 246653,

32) 95-37-91, факс. (232) 71-15-90

в научно-технической библиотеке



А.В. Пуцято



## ВВЕДЕНИЕ

Продольные силы, испытываемые длинномерным грузом и платформами сцепа, на которых он размещён, могут достигать значительных величин как в процессе маневровой работы, при возникновении соударений с другими единицами подвижного состава, так и при движении в составе поезда, в частности при резких торможениях.

Стремление снизить уровень динамических воздействий на длинномерный груз и опорные вагоны сцепа при взаимодействии последнего с другими единицами подвижного состава, и тем самым повысить сохранность вагонов и грузов, привело к созданию подвижных турникетно-крепёжных устройств (ТКУ). Наиболее перспективными следует признать подвижные устройства каткового, ползкового и клинового типов, что подтверждается большим числом патентов и авторских свидетельств на изобретения.

Использование таких устройств обеспечивает продольное перемещение груза из равновесного положения относительно опорного вагона или вагонов сцепа. Это перемещение сопровождается кинематически обусловленным повышением центра тяжести груза, за счёт чего достигается последующее восстановление первоначального взаиморасположения груза и вагонов.

Следует указать на недостаточность исследований динамики систем «подвижной состав – ТКУ – груз» с подвижными ТКУ, поскольку при рассмотрении подобных задач прибегали к значительному упрощению расчетных схем. Развитие вычислительной техники позволяет реализовывать новые, более точные математические модели и использовать их для определения рациональных параметров подвижных ТКУ.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами. Исследования и научно-технические разработки по теме диссертации выполнялись в соответствии с Государственной комплексной программой научных исследований «Механика» (ГКПНИ «МЕХАНИКА») в рамках задания «Механика 2.41» «Развитие теоретических основ и разработка методов исследования взаимодействия металлоконструкций подвижного состава с перевозимыми жидкими, сыпучими и длинномерными грузами с разработкой комплекса технических решений по совершенствованию их элементов конструкций» по теме «Разработка и исследование на моделях технических решений по совершенствованию несущих конструкций подвижного состава» (№ гос. регистрации 20063123 от 16.11.2006), выполнявшейся в 2006–2010 гг.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА БЕЛГУТА



**Цель и задачи исследования.** Цель данной работы – определение рациональных параметров подвижных систем крепления длинномерных грузов на железнодорожном подвижном составе для снижения повреждаемости грузов и вагонов в процессе транспортировки.

В соответствии с поставленной целью в диссертации решаются следующие задачи:

1) анализ методов, математических моделей и результатов выполненных ранее исследований в области подвижных систем крепления грузов на железнодорожном транспорте;

2) разработка и реализация на ЭВМ новых математических моделей механических систем «подвижной состав – ТКУ – груз» (с различными типами подвижных ТКУ), в которых устранены недостатки известных моделей;

3) разработка обобщённого технико-экономического критерия, учитывающего различные виды ущерба, наносимого грузу и опорным вагонам;

4) исследование влияния параметров крепёжных устройств различного типа на повреждаемость груза и подвижного состава при соударениях и определение рациональных значений параметров;

5) разработка новых конструкций подвижных ТКУ, обеспечивающих повышение сохранности перевозимых грузов и подвижного состава.

Объектом исследования является механическая система «подвижной состав – ТКУ – груз», включающая в себя платформу или сцеп из двух или трёх платформ, на которых груз закреплён при помощи подвижных турникетно-крепёжных устройств, а также другие единицы подвижного состава, с которыми происходит соударение платформы или сцепа.

Предметом исследования являются закономерности влияния параметров подвижных ТКУ на повреждаемость длинномерного груза, размещённого на платформе или на сцепе из двух или трёх платформ с использованием этих устройств, при соударениях платформы или сцепа с другими единицами подвижного состава.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1 Силовые характеристики катковых, ползковых и клиновых ТКУ, позволяющие уточнить значения продольных сил действующих на груз и вагоны, отличающиеся учетом динамических взаимодействий груза и устройств крепления, а также ограничением рабочего хода ТКУ.

2 Математическая модель механической системы, включающей груз, закреплённый с применением подвижных ТКУ на сцепе платформ и группу из нескольких вагонов («стенку»), с которой соударяется сцеп. Модель позволяет исследовать влияние параметров подвижных ТКУ на продольные нагрузки, действующие на груз и вагоны и отличается учетом более точных силовых характеристик ТКУ и наличием межвагонных связей в «стенке».



3 Методика определения рациональных параметров подвижных ТКУ, основанная на использовании предложенного обобщенного технико-экономического критерия.

4 Рациональные значения параметров ТКУ каткового типа, реализация которых приводит к снижению повреждаемости грузов и вагонов в процессе транспортировки.

**Личный вклад соискателя.** Разработаны новые математические модели для исследования динамики систем «подвижной состав – ТКУ – груз». Эти модели реализованы на ЭВМ в пакете Mathcad. Получены количественные зависимости между параметрами ТКУ каткового, ползкового и клинового типов и продольными ускорениями, действующими на груз, закрепленный с использованием ТКУ на подвижном составе. Определены рациональные значения параметров катковых ТКУ. Вклад соавторов в опубликованных работах заключается в научном руководстве, постановке целей и задач исследования, формулировке выводов.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: VIII Республиканская научно-техническая конференция студентов и аспирантов «НИРС–2003» (г. Минск, 2003) г; Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» (г. Гомель, 2003 г.); I научно-практическая конференция «Проблемы и та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління» (г. Киев, 2003 г.); Международная научно-практическая конференция «Подвижной состав железнодорожного транспорта» (г. Гомель, 2004 г.); II Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития вагоностроения» (г. Брянск, 2007 г.); IV Международная научно-практическая конференция «Проблемы безопасности на транспорте» (г. Гомель, 2007 г.); Международная научная конференция «Технические, экономические и экологические проблемы транспорта» (г. Брянск, 2008 г.); IV Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития транспортных систем в условиях реформирования железнодорожного транспорта: управление, экономика и технологии» (г. Киев, 2008 г.); 68-я Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (г. Днепропетровск, 2008 г.); II Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» (г. Гомель, 2008 г.); Международная научно-практическая конференция «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2008» (г. Одесса, 2008 г.); Научно-технический семинар «Компьютерное моделирование в железнодорожном транспорте:



вопросы динамики, прочности и износа» (г. Брянск, 2009 г.); Международная научно-практическая конференция «Наука и производство» (г. Брянск, Россия, 2009 г.).

**Опубликованность результатов диссертации.** По материалам диссертации опубликовано 19 научных работ, в том числе 5 статей в журналах включенных в перечень ВАК РБ (3,33 авторских листа), 4 статьи в сборниках научных трудов и 10 тезисов докладов научных конференций. Получено 7 патентов Республики Беларусь.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 128 страницах. Объем, занимаемый 51 рисунком, 6 таблицами и 7 приложениями, составляет 133 страницы. Библиографический список состоит из 141 наименований, включая 26 публикаций соискателя, и занимает 11 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В *главе 1* выполнен анализ литературы и технических решений по теме исследований. В настоящее время порядок и условия размещения и крепления длинномерных грузов на подвижном составе, а также основные технические и эксплуатационные требования к вновь разрабатываемым турникетам, регламентируется документами, основными из которых являются Технические условия погрузки и крепления грузов и Сборник правил перевозок и тарифов железнодорожного транспорта общего пользования.

Изучению свойств подвижных систем крепления грузов на железнодорожном подвижном составе и совершенствованию этих систем посвящены работы Е.П. Блохина, А.Д. Железнякова, В.А. Каблукова, В.А. Калашника, Б.Г. Кеглина, Г.В. Костина, Г.Б. Крайзгура, В.А. Лазаряна, А.Д. Малова, Л.А. Манашкина, И.К. Мороза, Б.К. Спиридонова, Е.Ф. Стуся, А.В. Шатунова и др. Основы теории функционирования подвижных систем крепления грузов наиболее полно отражены в работах А.Д. Железнякова и Б.К. Спиридонова.

Из проведенного анализа следует, что указанным выше исследованиям системы «подвижной состав – ТКУ – груз» присущи существенные недостатки:

– в моделях соударения группа вагонов («стенка»), в которую ударяется сцеп, представлена, как правило, одним вагоном, масса которого равна приведенной массе нескольких вагонов. При этом не учитывается амортизирующее влияние в процессе соударения поглощающих аппаратов между вагонами «стенки»;

– межвагонные связи в моделях соударения рассматривались чаще всего как линейные упругие элементы. Такое допущение, принимавшееся для



упрощения вычислений, приводит к существенным погрешностям в расчетах, поскольку в действительности типовые поглощающие аппараты автоцепных устройств четырехосных грузовых вагонов имеют довольно сложную силовую диаграмму, характеризующуюся переменной величиной предварительной затяжки при нагружении-разгрузении и зависимостью линий нагружения и разгрузения от величины и скорости сжатия поглощающего аппарата.

– в моделях подвижных ТКУ использовались статические силовые характеристики, которые выводятся из динамических для упрощения вычислений при допущении, что расстояние перемещения, скорость и ускорение примерно равны нулю, и дают расчётные значения силы, более далёкие от реальных значений по сравнению с динамическими. В результате не учитывается, что колебания сил при динамике имеют более широкий спектр;

– в моделях подвижных ТКУ, реализованных на ЭВМ, отсутствует ограничение рабочего хода ТКУ. Это не позволяет учесть важнейший момент в работе рассматриваемой системы, когда заканчивается рабочий ход ТКУ и наступает удар груза об ограничитель;

– не выполнялись исследования для варианта размещения груза на сцепе из трёх платформ, имеющего специфические особенности по сравнению с размещением груза на двух платформах;

– в качестве оценочного критерия использовалось, как правило, ускорение груза при ударе. Вопросы защиты грузов решались в отрыве от защиты опорных вагонов и без оценки экономической целесообразности проводимых мероприятий.

В работах зарубежных авторов не просматриваются достаточно обобщающие исследования по вопросам использования подвижных ТКУ. Это объясняется тем, что широкое применение вагонов с подвижными хребтовыми балками и менее жёсткие условия эксплуатации подвижного состава не вызывают необходимости дополнительного амортизирования грузов. Различия в параметрах поглощающих аппаратов межвагонных связей, а также конструкционные отличия вагонов не позволяют перенести результаты зарубежных исследований на отечественные технические средства.

Для устранения указанных выше недостатков, установления закономерностей функционирования и определения рациональных параметров подвижных ТКУ необходимо разработать новые методы и модели.

В *главе 2* разработана модель, описывающая процесс функционирования системы «подвижной состав – ТКУ – груз», в которой устранены недостатки известных моделей, указанные в первой главе.

В реальных условиях эксплуатации возможны различные варианты взаимодействия вагона или сцепа вагонов с другими единицами подвижного состава. Продольные силы, испытываемые вагонами и грузом, а соответст-



венно, и убытки от повреждений достигают своих наибольших величин при соударениях. Наиболее вероятным является соударение набегающего вагона или сцепа с другими вагонами, находящимися в составе неподвижной группы. На рисунке 1 представлена схема соударения, при котором груз на сцепе из двух вагонов соударяется со стенкой, состоящей из  $n$  вагонов. На этой схеме  $x_g, x_{p1}, x_{p2}, x_{s1}, x_{si}, x_{sn}$  — координаты центров масс соответственно груза, первой и второй платформ сцепа, первого,  $i$ -го и  $n$ -го вагонов «стенки», отсчитываемые от их положения в начальный момент соударения, м.

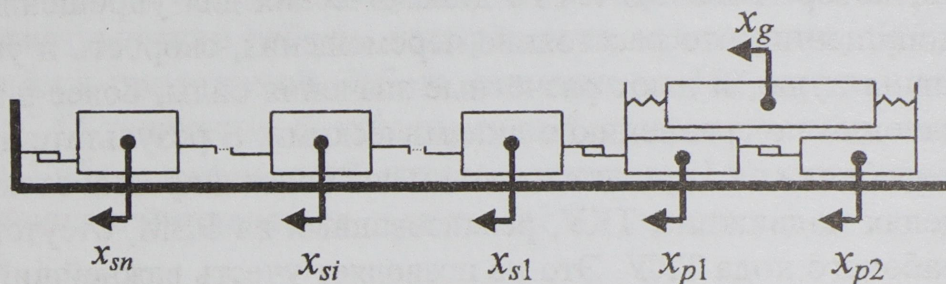


Рисунок 1 — Предлагаемая расчётная схема соударения для сцепа из двух платформ

Пользуясь принципом Даламбера, можно записать в виде системы дифференциальных уравнений обобщённую математическую модель соударения, справедливую для различных расчётных вариантов соударения одного вагона и сцепа из двух или трёх вагонов с группой заторможенных вагонов:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{p1} x_{p1}'' + P_{p1,s1} + P_{p1,p2} + N_{p1,g} = 0; \\ m_{p2} x_{p2}'' + P_{p2,p1} + P_{p2,p3} + N_{p2,g} = 0; \\ m_{p3} x_{p3}'' + P_{p3,p2} + N_{p3,g} = 0; \\ m_g x_g'' + N_{g,p1} + N_{g,p2} + N_{g,p3} = 0; \\ m_{s1} x_{s1}'' + P_{s1,p1} + P_{s1,s2} + F_{s1} \cdot \text{sign } x'_{s1} = 0; \\ \dots \\ m_{si} x_{si}'' + P_{si,si-1} + P_{si,si+1} + F_{si} \cdot \text{sign } x'_{si} = 0; \\ \dots \\ m_{sn} x_{sn}'' + P_{sn,sn-1} + F_{sn} \cdot \text{sign } x'_{sn} = 0, \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $m_{p1}, m_{p2}, m_{p3}, m_g, m_{s1}, m_{si}, m_{sn}$  — массы соответственно первой, второй и третьей по ходу движения платформ сцепа, масса груза, массы первого,  $i$ -го и  $n$ -го вагонов «стенки», кг;  $x''_{p1}, x''_{p2}, x''_{p3}, x''_g, x''_{s1}, x''_{si}, x''_{sn}$  — продольное ускорение соответственно первой, второй и третьей по ходу движения платформ сцепа, груза, первого,  $i$ -го и  $n$ -го вагонов «стенки», м/с<sup>2</sup>;  $P$  — сила реакции межвагонных связей, Н;  $N$  — сила продольной реакции подвижной



опоры,  $H$ ;  $F_{s1}$ ,  $F_{si}$ ,  $F_{sn}$ , – сила сопротивления перемещениям соответственно первого,  $i$ -го и  $n$ -го вагонов, образующих стенку,  $H$ ;  $x'_{s1}$ ,  $x'_{si}$ ,  $x'_{sn}$  – скорость соответственно первого,  $i$ -го и  $n$ -го вагонов «стенки», м/с;  $\text{sign } x'_{si}$  – знак скорости, равный  $+1$  при  $x'_{si} > 0$  и  $-1$  при  $x'_{si} < 0$ .

На основе обобщённой модели соударения разработаны и реализованы на ЭВМ в пакете Mathcad модели для различных конкретных вариантов соударения. Впервые реализована на ЭВМ и использована для выполнения расчётов модель соударения, в которой груз размещается на сцепе из трёх вагонов.

Для расчёта значений силы реакции межвагонных связей  $P$  при решении системы уравнений (1) использованы математические модели, воспроизводящие сложную силовую диаграмму поглощающих аппаратов, разработанные Б. Г. Кеглиным и Л. Н. Никольским.

Для расчёта значений силы продольной реакции подвижной опоры  $N$  разработаны математические модели динамических силовых характеристик ТКУ каткового, ползкового и клинового типов. Поскольку в подвижных опорах подвижного типа консервативная возвращающая сила при перемещениях груза относительно опорного вагона в продольном направлении возникает вследствие его подъёма, задачей аналитического определения силовых характеристик подвижной опоры является установление количественной зависимости между законом движения центра тяжести груза в вертикальной плоскости относительно центра тяжести опорного вагона и продольными силами, сообщаемыми этому грузу через эту опору.

Обобщённая математическая модель динамической силовой характеристики крепёжного устройства подвижного типа, позволяющая выполнять расчёт всех известных в настоящее время подобных устройств, разработана на кафедре «Вагоны и вагонное хозяйство» БелГУТа В.И. Сенько, А.Д. Железняковым и может быть записана следующим образом:

$$N = m_g \left( g + \frac{d^2 H}{dx^2} (x')^2 + \frac{dH}{dx} x'' \right) \frac{\frac{dH}{dx} + \mu \text{sign } x'}{1 - \mu \frac{dH}{dx} \text{sign } x'} , \quad (2)$$

где  $H$  – величина подъёма груза, м;  $x$  – продольное перемещение груза относительно указанного вагона, м;  $\text{sign } x'$  – знак скорости, равный  $+1$  при  $x' \geq 0$  и  $-1$  при  $x' < 0$ ;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\mu$  – приведенный коэффициент трения между грузом и опорой. Для клиновых и ползковых устройств  $\mu$  принимается равным коэффициенту трения скольжения на опорных поверхностях, т. е.  $\mu = \mu_c$ . Для катковых устройств  $\mu$  принимается равным эквивалентному коэффициенту сопротивления  $\mu_k$ , т. е.



$$\mu = \mu_k = \frac{2f}{h_k}, \quad (3)$$

где  $f$  – коэффициент трения качения на опорных поверхностях (имеет размерность длины), м;  $h_k$  – высота катка между опорными поверхностями (при цилиндрическом катке – его диаметр), м.

На основе обобщённой модели силовой характеристики автором разработаны модели силовых характеристик для подвижных ТКУ каткового (рисунок 2), ползкового (рисунок 3) и клинового (рисунок 4) типов. Для этого для каждого из видов ТКУ в зависимости от особенностей конструкции и геометрической формы рабочих поверхностей была определена функция  $H$ , выражающая зависимость высоты подъёма груза от его продольного перемещения относительно опорного вагона.

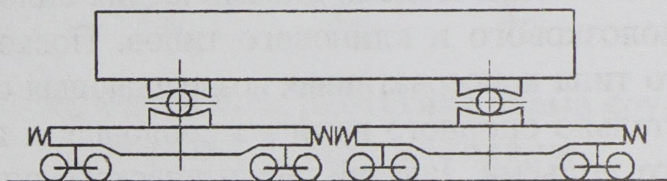


Рисунок 2 – Принципиальная схема каткового ТКУ

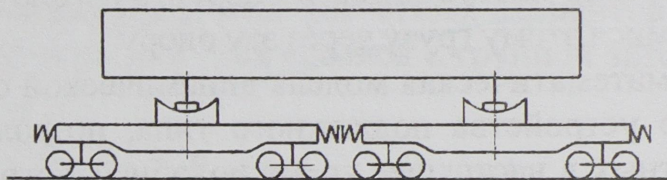


Рисунок 3 – Принципиальная схема ползкового ТКУ

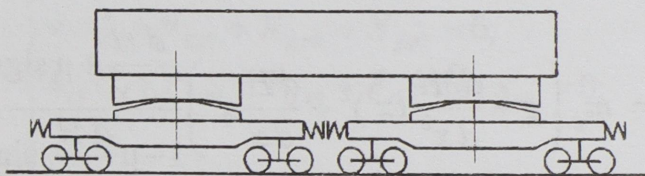


Рисунок 4 – Принципиальная схема клинового ТКУ

Формула силовой характеристики (2) после подстановки и преобразований принимает следующий вид:



– для ТКУ каткового типа с цилиндрическими профилями катка и опорных элементов

$$N_k = m_g \left( g + \frac{4(R-r)^2 (x')^2}{(4(R-r)^2 - x^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{x x''}{\sqrt{4(R-r)^2 - x^2}} \right) \frac{\frac{x}{\sqrt{4(R-r)^2 - x^2}} + \mu \operatorname{sign} x'}{1 - \mu \frac{x}{\sqrt{4(R-r)^2 - x^2}} \operatorname{sign} x'}, \quad (4)$$

где  $R$  – радиус рабочих поверхностей каткового ТКУ, м;  $r$  – радиус катка, м;  
– для ТКУ полозкового типа

$$N_n = m_g \left( g + \frac{R^2}{(R^2 - x^2)^{\frac{3}{2}}} (x')^2 + \frac{x x''}{\sqrt{R^2 - x^2}} \right) \frac{\frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}} + \mu \operatorname{sign} x'}{1 - \mu \frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}} \operatorname{sign} x'}, \quad (5)$$

где  $R$  – радиус опорной поверхности полозкового ТКУ, м;

– для ТКУ клинового типа формула силовой характеристики после подстановки и преобразований принимает следующий вид:

$$N_{кл} = m_g (g + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{sign} x \cdot x'') \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{sign} x + \mu \operatorname{sign} x'}{1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{sign} x \cdot \operatorname{sign} x'}, \quad (6)$$

где  $\alpha$  – угол наклона к горизонту опорных фрикционных поверхностей клинового ТКУ, радиан.

Важным моментом выполненного исследования является то, что при разработке моделей и осуществлении расчётов учтено ограничение рабочего хода ТКУ, диктуемое практическими условиями работы подобных устройств (в первую очередь – безопасностью движения). Удар груза об ограничители при завершении рабочего хода ТКУ – это фактор, который необходимо учитывать для обеспечения сохранности груза и подвижного состава. В пределах рабочего хода подвижной опоры сила, действующая на груз, определяется исходя из силовой характеристики этой опоры. При достижении максимального значения хода подвижной опоры происходит соударение груза с ограничителем (жёсткой преградой). Сила, действующая на груз при этом соударении, определяется исходя из жёсткости рамы платформы.

В главе 3 анализируется влияние параметров крепёжных устройств на повреждаемость длинномерных грузов.

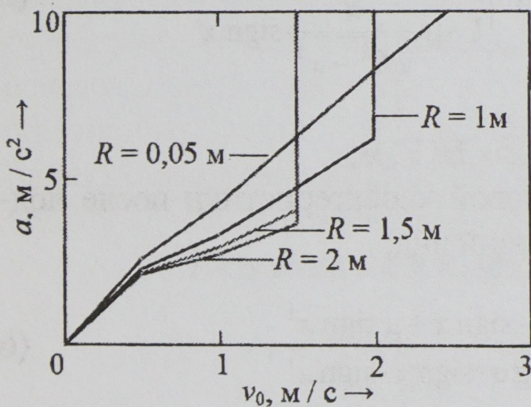
Эффективность ТКУ оценивается с позиций их главного назначения – обеспечение сохранности перевозимого груза и вагонов. В настоящее время наиболее распространённым подходом является сравнение тех или иных принципиальных схем крепления грузов по величинам продольных сил и



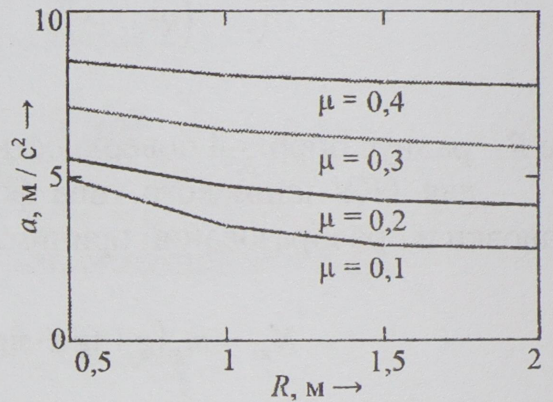
ускорений, воспринимаемых ими при ударных взаимодействиях вагонов с другими единицами подвижного состава.

В работе обосновано, что для исследования влияния параметров ТКУ на сохранность груза и подвижного состава целесообразно использовать расчётную схему соударения, в которой груз, укрепленный на сцепе из двух вагонов, соударяется с тремя последовательно соединёнными вагонами с упором. Дальнейшее увеличение числа вагонов «стенки» в расчётной схеме не даёт значимого уточнения результатов моделирования, а только увеличивает количество расчётов.

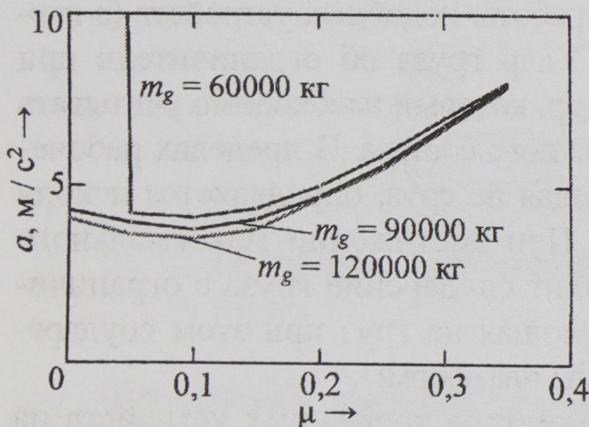
В результате моделирования по предложенной расчётной схеме соударения получены графики зависимостей максимального ускорения груза от основных параметров катковых, ползковых и клиновых ТКУ. На рисунках 5–8 показаны графики зависимостей для катковых ТКУ.



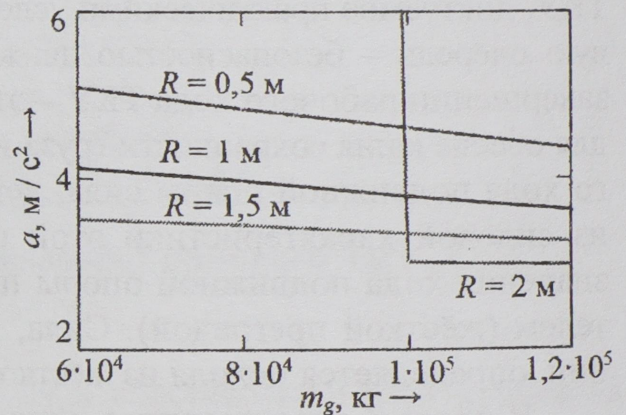
**Рисунок 5 – Зависимость максимального ускорения груза от начальной скорости соударения  $v_0$ :**  
 $r = 0,1 \text{ м}, \mu = 0,1, m_g = 60000 \text{ кг}$



**Рисунок 6 – Зависимость максимального ускорения груза от радиуса опорных поверхностей  $R$ :**  
 $v_0 = 1,39 \text{ м/с}, r = 0,1 \text{ м}, m_g = 60000 \text{ кг}$



**Рисунок 7 – Зависимость максимального ускорения груза от приведенного коэффициента трения  $\mu$ :**  
 $v_0 = 1,39 \text{ м/с}, R = 1 \text{ м}, r = 0,1 \text{ м}$

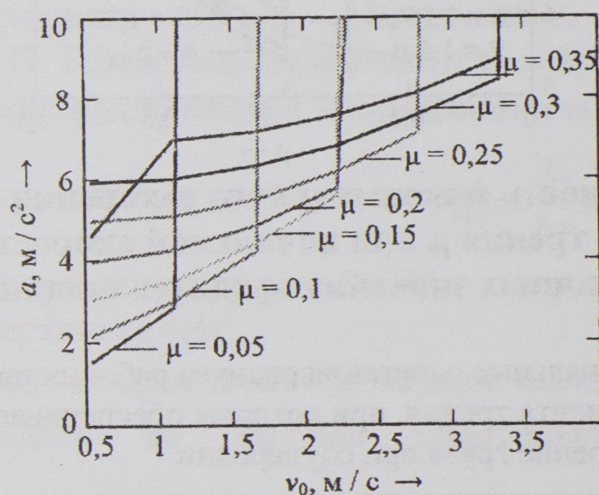


**Рисунок 8 – Зависимость максимального ускорения груза от массы груза  $m_g$ :**  
 $v_0 = 1,39 \text{ м/с}, r = 0,1 \text{ м}, \mu = 0,05$



Из полученных графиков видно, что для ТКУ каткового и полозкового типов характерно, что чем больше радиус  $R$  рабочих поверхностей ТКУ и чем меньше приведенный коэффициент трения  $\mu$ , тем меньше ускорение груза  $a$  в пределах рабочего хода ТКУ, однако тем быстрее (при меньшей начальной скорости соударения) заканчивается рабочий ход ТКУ и наступает удар об ограничитель, сопровождающийся значительным ускорением.

В реализуемых на практике конкретных конструкциях катковых ТКУ радиус рабочих поверхностей, как правило, не поддается изменению (регулировке), а имеется возможность отрегулировать силы трения. Поэтому для катковых ТКУ для множества комбинаций значений радиуса опорных поверхностей и начальной скорости соударения в диссертации определены значения приведенного коэффициента трения, при котором достигается минимальное ускорение груза при ударе и работа ТКУ в пределах рабочего хода. В качестве примера (рисунок 9) приведены графики зависимости максимального ускорения груза от начальной скорости соударения при радиусе рабочих поверхностей, равном 1,5 м, при различных приведенных коэффициентах трения. Видно, что, например, при заданном радиусе рабочих поверхностей 1,5 м и начальной скорости соударения 1,6 м/с минимальное значение продольного ускорения достигается на линии графика, которая соответствует приведенному коэффициенту трения 0,1.



**Рисунок 9 – Зависимость максимального ускорения груза от начальной скорости соударения при радиусе рабочих поверхностей, равном 1,5 м, при различных приведенных коэффициентах трения  $\mu$**

Для ТКУ каткового и полозкового типов характерно, что по мере увеличения приведенного коэффициента трения максимальное ускорение груза сначала уменьшается, а затем, при дальнейшем увеличении приведенного коэффициента трения, ускорение увеличивается, т. е. на графике зависимости ускорения от приведенного коэффициента трения виден минимум функ-



ции. Это объясняется тем, что на ускорение груза влияет как приведенный коэффициент трения, так и радиусы опорных поверхностей.

В процессе проектирования катковых ТКУ можно задавать не только приведенный коэффициент трения, но и радиус рабочих поверхностей. Поэтому для катковых ТКУ определены такие сочетания значений приведенного коэффициента трения и радиуса опорных поверхностей, при которых продольное ускорение груза минимальное (таблица 1). В качестве примера (рисунок 10) приведены графики зависимости максимального ускорения груза от приведенного коэффициента трения при начальной скорости соударения, равной 2,22 м/с, и различных значениях радиуса опорных поверхностей. Видно, что, например, при начальной скорости соударения 2,222 м/с и радиусе рабочих поверхностей 1,5 м минимальное значение продольного ускорения достигается при приведенном коэффициенте трения 0,15.

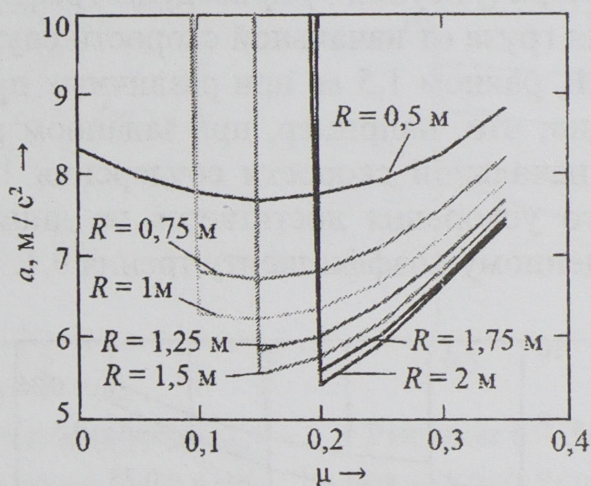


Рисунок 10 – Зависимость максимального ускорения груза от приведенного коэффициента трения  $\mu$  при начальной скорости соударения, равной 2,22 м/с, и различных значениях радиуса опорных поверхностей  $R$

Таблица 1 – Рациональные сочетания радиуса рабочих поверхностей и приведенного коэффициента трения, при которых обеспечивается минимальное продольное ускорение груза при соударении

R	Начальная скорость соударения											
	v = 0,56 м/с (2 км/ч)		v = 1,11 м/с (4 км/ч)		v = 1,67 м/с (6 км/ч)		v = 2,22 м/с (8 км/ч)		v = 2,78 м/с (10 км/ч)		v = 3,33 м/с (12 км/ч)	
	$\mu$	a	$\mu$	a	$\mu$	a	$\mu$	a	$\mu$	a	$\mu$	a
0,50	0,05	2,079	0,1	4,085	0,15	5,959	0,15	7,674	0,2	9,393	0,2	10,984
0,75	0,05	1,832	0,1	3,577	0,1	5,181	0,15	6,703	0,15	8,212	0,2*	9,655
1,00	0,05	1,705	0,05	3,304	0,1	4,783	0,15	6,206	0,2	7,620	0,25*	8,983
1,25	0,00	1,592	0,05	3,039	0,1*	4,456	0,15*	5,826	0,2	7,185	0,3*	8,809
1,50	0,00	1,466	0,05*	2,830	0,1*	4,210	0,15*	5,544	0,25	7,097	0,3*	8,434
1,75	0,00	1,366	0,05*	2,660	0,1*	3,978	0,2*	5,576	0,25	6,874	0,3*	8,223
2,00	0,00	1,275	0,05*	2,519	0,1*	3,815	0,2*	5,418	0,25	6,701	0,35*	8,564



Следует отметить, что во многих из рассмотренных комбинаций значений радиуса опорных поверхностей и приведенного коэффициента трения минимальное продольное ускорение достигается при полном использовании рабочего хода ТКУ. Такие сочетания отмечены в таблице звёздочкой (\*). Если бы не было ограничения длины рабочего хода ТКУ, после которого происходит удар об ограничитель, то минимум ускорения в этих случаях достигался бы при другом значении приведенного коэффициента трения, и значение ускорения было бы меньше.

Для более полной оценки свойств турникетно-крепёжного устройства предлагается обобщенный технико-экономический критерий (ОТЭК). ОТЭК формируется с учетом выводов, полученных в работах Л. Н. Никольского, Б. Г. Кеглина, А. Д. Железнякова, А. П. Болдырева, которые использовали данный критерий для оценки эффективности межвагонных амортизаторов. С учётом специфики рассматриваемой в данной работе механической системы для сцепа из двух опорных вагонов ОТЭК рассчитывается следующим образом.

$$u = \alpha_{уст} J_{уст} + \alpha_{пв} J_{пв} + \alpha_{пгр} J_{пгр} \quad (7)$$

Величина ОТЭК измеряется в условных денежных единицах. Составляющие обобщённого критерия относятся к различным видам отказов и в соответствии с выводами Л. Н. Никольского, Б. Г. Кеглина, А. Д. Железнякова, А. П. Болдырева определяются следующим образом.

$J_{уст} = J_{уст}^1 + J_{уст}^2$  – условная усталостная повреждаемость вагонов сцепа. Для

каждого из вагонов определяется по формуле  $J_{уст}^{1,2} = \sum_{i=1}^k P_i^m n_i$ , где  $n_i$  – число

нагружений вагона продольными силами  $P_i$ ,  $N$ ;  $m$  – параметр кривой усталости. Величина  $J_{уст}$  измеряется в  $(Н)^5$ .

$J_{пв} = J_{пв}^1 + J_{пв}^2$  – условная повреждаемость вагонов сцепа от единичных перегрузок; Для каждого из вагонов определяется по формуле

$$J_{пв}^{1,2} = \sum_{j=1}^r (P_j - P_{п})^2 n_j \Phi(P_j - P_{п}), \text{ где } n_j \text{ – число нагружений вагона силой } P_j;$$

$P_{п}$  – пороговая сила удара, превышение которой приводит к деформации вагона,  $N$ ;  $\Phi$  – единичная функция Хевисайда. Величина  $J_{пв}$  измеряется в  $Н^2$ .

$$J_{пгр} = \sum_{j=1}^r (N_j - N_{п})^2 n_j \Phi(N_j - N_{п}) \text{ – условная повреждаемость груза от от-}$$

дельных перегрузок, где  $n_j$  – число нагружений груза силой  $N_j$ ;  $N_{п}$  – пороговая сила, превышение которой приводит к деформации груза,  $N$ . Величина  $J_{пгр}$  измеряется в  $Н^2$ .



$\alpha_{уст}$  – коэффициент пропорциональности, связывающий условную усталостную повреждаемость с экономическим ущербом, условных денежных единиц /  $(H)^m$ ;  $\alpha_{тв}$  – коэффициент пропорциональности, связывающий условную повреждаемость вагонов сцепа от единичных перегрузок с экономическим ущербом, условных денежных единиц /  $H^2$ ;  $\alpha_{тгр}$  – коэффициент пропорциональности, связывающий условную повреждаемость груза от единичных перегрузок с экономическим ущербом, условных денежных единиц /  $H^2$ .

В настоящее время вследствие отсутствия достаточного статистического материала не представляется возможным уточнить значения коэффициентов  $\alpha$ . Поэтому для вычисления ОТЭК приняты гипотетические значения коэффициентов.

Для катковых ТКУ определены рациональные значения параметров на основе обобщённого технико-экономического критерия (ОТЭК). Минимальное значение ОТЭК для катковых ТКУ достигается при параметрах: радиусе опорных поверхностей равном 0,5 м и приведенном коэффициенте трения равном 0,1.

В *главе 4* исходя из свойств и закономерностей функционирования подвижных ТКУ определены возможные направления совершенствования их конструкций для снижения повреждаемости грузов и вагонов в процессе транспортировки:

1 Определение рациональных параметров ТКУ на стадии проектирования с учётом вероятности наступления различных скоростей соударения. В качестве критерия для определения рациональных параметров в данном случае может быть использован ОТЭК.

2 Создание ТКУ, конструкция которых позволяет регулировать основные параметры в процессе эксплуатации в зависимости от ожидаемых условий перевозки, например, от массы перевозимого груза и от ожидаемых на пути конкретной транспортировки груза максимальных скоростей соударения.

3 Создание ТКУ, конструкцией которых предусмотрено саморегулирование сил трения и формы опорных поверхностей при каждом конкретном случае в зависимости от условий соударения, в частности в зависимости от начальной скорости соударения и величины массы груза и вагонов. При реализации на практике такого подхода можно добиться, чтобы при любых условиях соударения рабочий ход ТКУ использовался полностью и таким образом ускорение груза при ударе было минимально возможным.

Наиболее простыми для реализации и дешёвыми для изготовления и эксплуатации являются ТКУ, конструкция которых соответствует первому из предложенных направлений. Конструкции, соответствующие третьему



направлению, являются наиболее дорогостоящими в изготовлении, однако могут обеспечить наибольшую сохранность груза и подвижного состава.

В четвёртой главе также приводятся разработанные с участием автора конструкции турникетно-крепёжных устройств, на которые получены патенты Республики Беларусь [20–26].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации:

1 Получены силовые характеристики катковых, ползковых и клиновых ТКУ, в которых учет особенностей динамического взаимодействия груза с устройством крепления позволил уточнить значения продольных сил действующих на груз и вагоны. Установлено, что при использовании катковых ТКУ с радиусом рабочих поверхностей, например 1,7 м, при изменении приведенного коэффициента трения в диапазоне от 0,01 до 0,40 и начальной скорости взаимодействия в диапазоне от 0,56 м/с до 2,78 м/с продольная сила, действующая на груз массой 90 т, может изменяться в диапазоне от 0,07 до 0,70 МН, в то время как при расчете по действующим нормативным документам значение этой силы составляет 0,467 МН [1, 4, 7, 9].

2 Разработана математическая модель механической системы, включающей груз, закреплённый с применением подвижных ТКУ на сцепе платформ, и группу из нескольких вагонов («стенку»), с которой соударяется сцеп. В модели учтены силовые характеристики подвижных ТКУ, уточняющие значения сил, действующих на груз и вагоны, и амортизирующее влияние поглощающих аппаратов между вагонами «стенки» [2–4, 7, 9].

3 Установлено, что чем больше радиус рабочих поверхностей ТКУ каткового и ползкового типов, и чем меньше приведенный коэффициент трения, тем меньше ускорение груза в пределах рабочего хода ТКУ. В то же время быстрее заканчивается рабочий ход ТКУ и наступает жесткий удар об ограничители. Поскольку в реализуемых на практике конкретных конструкциях катковых ТКУ радиус рабочих поверхностей, как правило, не поддается изменению (регулировке), а имеется возможность отрегулировать силы трения, для катковых ТКУ при множестве комбинаций значений радиуса опорных поверхностей и начальной скорости соударения определены значения приведенного коэффициента трения, при котором достигается минимальное ускорение груза и работа ТКУ в пределах рабочего хода. Например, при радиусе рабочих поверхностей 1,5 м и начальной скорости соударения 1,6 м/с минимальное значение продольного ускорения достигается при приведенном коэффициенте трения 0,1 [3, 4, 9, 14, 15, 17].

4 Установлено, что по мере увеличения приведенного коэффициента трения в ТКУ каткового и ползкового типов максимальное ускорение груза уменьшается, дальнейшее увеличение приведенного коэффициента трения



приводит к увеличению ускорения. В процессе проектирования новых конструкций катковых ТКУ можно задавать не только приведенный коэффициент трения, но и радиус рабочих поверхностей, поэтому для катковых ТКУ определены такие сочетания значений приведенного коэффициента трения и радиуса опорных поверхностей, при которых продольное ускорение груза минимальное. Например, при начальной скорости соударения 2,22 м/с и радиусе рабочих поверхностей 1,50 м минимальное значение продольного ускорения достигается при приведенном коэффициенте трения 0,15 [3, 4, 9, 14, 15, 17].

5 Для оценки эффективности работы различных ТКУ и определения их рациональных параметров разработан обобщенный технико-экономический критерий (ОТЭК). По разработанной методике определения рациональных параметров подвижных ТКУ для груза массой 60 т установлено, что минимальное значение критерия при действии спектра эксплуатационных нагрузок достигается при радиусе опорных поверхностей равном 0,5 м и приведенном коэффициенте трения 0,1 [5, 10, 11, 12].

#### **Рекомендации по практическому использованию результатов:**

Методика расчётов и реализованные на ЭВМ математические модели для анализа динамики систем крепления грузов с применением подвижных ТКУ могут быть использованы для определения рациональных параметров подвижных ТКУ и выработки практических рекомендаций по усовершенствованию известных и разработке новых конструкций ТКУ для повышения сохранности перевозимых грузов и подвижного состава.

Исходя из проведенных исследований свойств подвижных ТКУ в диссертации определены возможные направления совершенствования их конструкций. С участием автора разработан ряд схем подвижных ТКУ. На семь из них получены патенты Республики Беларусь [1, 20–26].

Методика расчётов и реализованные на ЭВМ математические модели для анализа динамики систем крепления грузов с применением подвижных ТКУ внедрены в Службе грузовой работы и внешнеэкономической деятельности Управления Белорусской железной дороги; в УП «Брестское отделение Белорусской железной дороги» «Брестгрузтранслогистик»; в Филиале «Завод сборного железобетона № 11» ОАО «Светлогорский домостроительный комбинат».



## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### *Статьи в журналах*

✓ 1. Васильев, С.М. Подвижной состав и устройства крепления для перевозки длинномерных грузов / С.М. Васильев, В.И. Сенько, А.Д. Железняков // Вестник Белорус. гос. ун-та транспорта: Наука и транспорт. – 2004. – №1. – С. 4–6.

✓ 2. Васильев, С.М. Математическое моделирование динамических воздействий на длинномерные грузы и опорные вагоны / С.М. Васильев // Вестник Белорус. гос. ун-та транспорта: Наука и транспорт. – 2006. – №1–2. – С. 30–36.

3. Васильев, С.М. Сравнительный анализ динамических характеристик гравитационных турникетно-крепёжных устройств каткового, ползкового и клинового типов / С.М. Васильев // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – № 23. – С. 20–24.

✓ 4. Васильев, С.М. Зависимость ускорений груза от параметров гравитационных турникетно-крепёжных устройств при соударениях единиц подвижного состава / С.М. Васильев // Вестник Белорус. гос. ун-та транспорта: Наука и транспорт. – 2008. – №1 – С. 18–23.

✓ 5. Васильев, С.М. Определение рациональных параметров катковых катковых турникетно-крепежных устройств / С.М. Васильев // Вестник Белорус. гос. ун-та транспорта: Наука и транспорт. – 2010. – №2 – С. 159–164.

### *Статьи в сборниках*

6. Васильев, С.М. Подвижной состав и устройства крепления для перевозки длинномерных грузов / С.М. Васильев // Подвижной состав железнодорожного транспорта: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 2004 / Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. рез. В. И. Сенько. – Гомель, 2004. – С. 13–18.

7. Васильев, С.М. Моделирование в Mathcad динамики сцепа вагонов, при размещении на нём груза с использованием гравитационных турникетно-крепёжных устройств / С.М. Васильев, А.Д. Железняков // III Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития вагоностроения»: материалы конференции. / Брянский гос. техн. ун-т. – Брянск, 2007. – С. 21–24.

8. Васильев, С.М. Определение в программном комплексе «Universal Mechanism» параметров клиновых ТКУ для надёжного размещения длинномерного груза на сцепе из двух платформ / С.М. Васильев // Проблемы безопасности на транспорте: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во трансп. и коммуникаций Респ. Бе-



ларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. В.И. Сенько. – Гомель: БелГУТ, 2007. – 268 с. Стр. 54–56

9. Васильев, С.М. Влияние параметров гравитационных турникетно-крепёжных устройств на повреждаемость длиномерных грузов / С.М. Васильев // Технические, экономические и экологические проблемы транспорта: материалы Междунар. науч. конф., посвящённой 170-летию железных дорог России. 10-12 января 2008 г. // Под общ. ред. А.П. Ковалёва, Н.Л. Кочегаровой. - Брянск: РГОТУПС (Брянский филиал), 2008. С. 29-39

### *Материалы конференций*

10. Васильев, С.М. Критерий оценки эффективности устройств крепления длиномерных грузов на железнодорожных вагонах / С.М. Васильев // VIII Республиканская научно-техническая конференция студентов и аспирантов «НИРС–2003»: тез. докл. БНТУ, г. Минск. – Минск, 2003. – С. 64–65.

11. Васильев, С.М. Обобщённый критерий оценки эффективности устройств крепления длиномерных грузов на железнодорожных вагонах / С.М. Васильев, А.Д. Железняков // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1 / Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель, 2003. – С.22–24.

12. Васильев, С.М. Сравнительная оценка схем крепления длиномерных грузов на железнодорожном подвижном составе / С.М. Васильев // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління: тези док. першої наук.-практ. конф. Ч.1: Техніка і технологія. – КУЕТТ, 2003. – С. 6–7.

13. Васильев, С.М. Моделирование в ПК Universal Mechanism динамики систем «подвижной состав–турникетно-крепёжные устройства–груз» / С.М. Васильев // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології: Матеріали IV міжнар. наук. практ. конф. Сер. «Техніка, технологія». – К.: ДЕТУТ, 2008. – С. 17–19.

14. Васильев, С.М. Сравнительный анализ динамических характеристик гравитационных турникетно-крепёжных устройств / С.М. Васильев // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тез. 68-й Междунар. науч.-практ. конф. – Днепропетровск: ДИИТ, 2008. – С. 17-18

15. Васильев, С.М. Анализ динамических характеристик катковых турникетно-крепёжных устройств / С.М. Васильев, А.Д. Железняков // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус.



гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. В.И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2008. – С. 164.

16. Васильев, С.М. Динамические особенности системы «длинномерный груз – клиновое турникетно-крепёжное устройство – подвижной состав» / С.М. Васильев, А.Д. Железняков // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : материалы II Международ. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во трансп. и коммуникаций Респ. Бел, Беларусь. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. В.И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2008. –С. 165

17. Васильев, С.М. Динамические особенности катковых турникетно-крепёжных устройств / С.М. Васильев // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2008». Т. 1. Транспорт, Физика и математика, История. – Одесса: Черноморье, 2008. –С. 24–25

18. Васильев, С.М. Возможности применения ПК Universal Mechanism для исследования динамических характеристик гравитационных турникетно-крепёжных устройств / С.М. Васильев // Научно-технический семинар. Компьютерное моделирование в железнодорожном транспорте: вопросы динамики, прочности и износа: сб. тез. докл. 9-12 февраля 2009, Брянск, Россия, 2009. С. 49–50.

19. Васильев, С.М. Перспективы применения подвижных турникетно-крепёжных устройств при перевозке грузов по железной дороге / С.М. Васильев // Наука и производство – 2009: материалы Международ. науч.-практ. конф. (19–20 марта 2009 г., г. Брянск): в 2 ч. / под ред С.П. Сазонова, П.В. Новикова. – Брянск: БГТУ, 2009. – Ч. 1. С. 294–296

### *Патенты*

20. Устройство для крепления длинномерных грузов на транспортном средстве: пат. 766 Респ. Беларусь, МПК В 60Р 3/40 / А.Д. Железняков, С.М. Васильев; заявитель Белорус. гос. ун-т транс. – № и 20020126; заявл. 29.04.2002, опубл. 02.10.2002 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2003. – № 1. – С. 210

21. Устройство для крепления длинномерных грузов на транспортном средстве: пат. 1529 Респ. Беларусь, МПК В 60Р 3/40 / В. И. Сенько, А.Д. Железняков, С.М. Васильев; заявитель Белорус. гос. ун-т транс. – № и 20040012; заявл. 12.01.2004, опубл. 17.05.2004 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – №3. – С. 228.

22. Устройство для крепления длинномерных грузов на транспортном средстве: пат. 1586 Респ. Беларусь, МПК В 60Р 3/40 / В.И. Сенько, А.Д. Железняков, С.М. Васильев; заявитель Белорус. гос. ун-т транс. –



№20040113, заявл. 12.03.2004, опубл. 15.06.2004 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – № 3. – С. 228–229.

23. Устройство для крепления длинномерных грузов на транспортном средстве: пат. 2051 Респ. Беларусь, МПК В 60Р 3/40 / А.Д. Железняков, С.М. Васильев; заявитель Белорус. гос. ун-т транс. – № 20040632, заявл. 27.12.2004, опубл. 01.04.2005 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 3. Частка II – С. 52–53.

24. Устройство для крепления длинномерных грузов на транспортном средстве: пат. 2449 Респ. Беларусь, МПК В 60Р 3/40 / В.И. Сенько, А.Д. Железняков, С.М. Васильев; заявитель Белорус. гос. ун-т транс. – № 20050422, заявл. 11.07.2005, опубл. 03.10.2005 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – №1. – С. 179.

25. Устройство ударно тяговое: пат. 1388 Респ. Беларусь, МПК В 61G 9/00 / В.И. Сенько, А.Д. Железняков, С.М. Васильев; заявитель Белорус. гос. ун-т транс. – № и 20030432; заявл. 15.10.2003, опубл. 02.02.2004 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – №2. – С. 175.

26. Устройство для крепления длинномерных грузов на транспортном средстве: пат. 1882 Респ. Беларусь, МПК В 60Р 3/40 / В.И. Сенько, А.Д. Железняков, С.М. Васильев; заявитель Белорус. гос. ун-т транс. – № 20040439; заявл. 21.09.2004, опубл. 15.12.2004 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 1. – С. 221.



## РЕЗЮМЕ

Васильев Степан Михайлович

### Параметры подвижных турникетно-крепёжных устройств для перевозки длинномерных грузов на железнодорожном подвижном составе

**Ключевые слова:** турникетно-крепёжное устройство, длинномерный груз, сцеп, соударение, математическое моделирование, рациональные параметры.

**Цель исследования:** определение рациональных параметров подвижных систем крепления длинномерных грузов на железнодорожном подвижном составе для снижения повреждаемости грузов и вагонов в процессе транспортировки.

**Методы исследования:** математическое моделирование.

**Полученные результаты и их новизна:** разработана математическая модель механической системы, включающая в себя груз, подвижно закреплённый на сцепе из двух или трёх платформ с применением подвижных ТКУ, и группу из нескольких вагонов («стенку»), с которой соударяется сцеп, отличающаяся от известных моделей тем, что она составлена с использованием не статических, а динамических силовых характеристик ТКУ; в ней учтены ограничения рабочего хода ТКУ и влияние межвагонных связей «стенки» (группы вагонов, с которой происходит соударение сцепа).

При помощи предложенной математической модели получены количественные зависимости между основными параметрами ТКУ каткового, ползкового и клинового типов и продольными ускорениями, действующими на груз, закреплённый на подвижном составе, и определены рациональные значения параметров ТКУ каткового типа, при которых снижается повреждаемость грузов и вагонов в процессе транспортировки. Разработан ряд усовершенствованных конструкций подвижных ТКУ, на которые получены патенты Республики Беларусь.

**Степень использования и рекомендации:** результаты исследований могут быть использованы для изучения динамических свойств подвижных ТКУ, усовершенствования известных и разработки новых конструкций ТКУ для повышения сохранности перевозимых грузов и подвижного состава. Методика расчётов и реализованные на ЭВМ математические модели внедрены в Службе грузовой работы и внешнеэкономической деятельности Управления Белорусской железной дороги; в УП «Брестское отделение Белорусской железной дороги» «Брестгрузтранслогистик»; в Филиале «Завод сборного железобетона № 11» ОАО «Светлогорский домостроительный комбинат».

**Область применения:** разработка подвижных ТКУ для транспортировки длинномерных грузов железнодорожным транспортом.



## РЭЗЮМЕ

Васільеў Сцяпан Міхайлавіч

### ПАРАМЕТРЫ РУХОМЫХ ТУРНИКЕТНА-КРАПЕЖНЫХ ПРЫЛАД ДЛЯ ПЕРАВОЗКІ ДАЎГАМЕРНЫХ ГРУЗАЎ НА ЧЫГУНАЧНЫМ РУХОМЫМ САСТАВЕ

**Ключавыя словы:** турнікетна-крапежная прылада, даўгамерны груз, счэп, саўдарэнне, матэматычнае мадэляванне, рацыянальныя параметры.

**Мэта работы:** вызначэнне рацыянальных параметраў рухомых сістэм мацавання даўгамерных грузаў на чыгуначным рухомым саставе для зніжэння пашкоджанняў грузаў і вагонаў у працэсе транспарціроўкі.

**Метады даследавання:** матэматычнае мадэляванне.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** распрацавана матэматычная мадэль механічнай сістэмы, што ўключае ў сябе груз, рухома замацаваны на счэпе з двух або трох платформаў з выкарыстаннем рухомых ТКП, і групу з некалькіх вагонаў («сценку»), з якой саўдараецца счэп, адрозная ад вядомых мадэляў тым, што яна складзена з выкарыстаннем не статычных, а дынамічных сілавых характарыстык ТКП; у ёй улічаны абмежаванні рабочага ходу ТКП і ўплыў межвагонных сувязяў «сценкі» (групы вагонаў, з якой адбываецца саўдарэнне счэпа).

Пры дапамозе прапанаванай матэматычнай мадэлі атрыманы колькасныя залежнасці паміж асноўнымі параметрамі ТКП катковага, палазковага і клінавага тыпаў і падоўжнымі паскарэннямі, якія ўздзейнічаюць на груз, умацаваны з іх выкарыстаннем на рухомым складзе, і вызначаны рацыянальныя значэнні параметраў ТКП катковага тыпу, пры якіх зніжаюцца пашкоджанні грузаў і вагонаў у працэсе транспарціроўкі. Распрацаваны шэраг удасканаленых канструкцый рухомых ТКП, на якія атрыманы патэнты Рэспублікі Беларусь.

**Ступень выкарыстання і рэкамендацыі:** вынікі даследаванняў могуць быць выкарыстаны для вывучэння дынамічных уласцівасцяў рухомых ТКП, удасканалення вядомых і распрацоўкі новых канструкцый ТКП для павышэння захаванасці грузаў і рухомага складу. Методыка разлікаў і рэалізаваная на ЭВМ матэматычная мадэль ўкаранёны ў Службе грузавой работы і знешнеэканамічнай дзейнасці Упраўлення Беларускай чыгункі; ва УП «Брэсцкае аддзяленне Беларускай чыгункі» «Брэстгрузтранслагістык»; у філіяле «Завод зборнага жалезабетону № 11» ААТ «Светлагорскі домабудаўнічы камбінат».

**Галіна выкарыстання:** распрацоўка рухомых ТКП для транспарціроўкі даўгамерных грузаў чыгуначным транспартам.



## SUMMARY

Vasilyeu Stepan Mikhailovich

### PARAMETERS OF MOVING TURNSTILE-FASTENING DEVICES FOR CARRYING LONG LOADS ON RAILWAY ROLLING STOCK

**Keywords:** turnstile-fastening device, long loads, adhesion cars, collisions, mathematical modeling, rational parameters.

**The work purpose:** definition of rational parameters of long loads fixing moving systems on railway rolling stock to reduce the damage of cargo and railcars in transportaion.

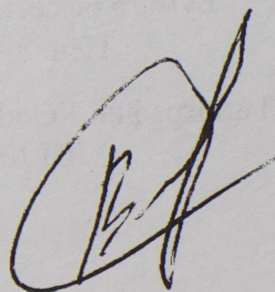
**Research methods:** mathematic modeling.

**The gained results and their novelty:** A mathematical model of the mechanical system developed, which includes cargo adjustably mounted on the adhesion of two or three platforms with mobile TFD, and a group of several cars ("wall"), which collides with the adhesion, which differs from the known models in that it is composed using non-static dynamic force characteristics of the TFD; takes into account the limitations of working of the TFD; takes into account the effect of "wall" car connections.

With the help of the proposed mathematical model the quantitative relationship between the basic parameters of roller, skid and wedge TFD and longitudinal acceleration effecting on the cargo, fortified with their use on rolling stock, and identified the rational values of the parameters of roller TFD under which reduced damage of cargo and railcars in transportation. The number of advanced designs of mobile TFD was developed, which had received Patents of the Republic of Belarus.

**Recommendations for application:** results can be used to study the dynamic properties of mobile TFD, improvements of known and development of new designs of TFD to improve safety of cargoes and rolling stock. Method of calculation and mathematical models introduced in the Service of freight operations and foreign activities of the Belarusian Railways; in UE "Brest Branch of the Belarusian Railways" Brestgruztranslogistik; the Branch Plant "Precast concrete plant № 11" JSC "Svetlogorsk house-building factory".

**Scope:** development of mobile TFD to transport long goods by rail.





Научное издание

*ВАСИЛЬЕВ Степан Михайлович*

**Параметры подвижных турникетно–крепёжных устройств  
для перевозки длинномерных грузов на железнодорожном  
подвижном составе**

05.22.08 – Управление процессами перевозок

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

Подписано в печать 15.03.2011 г. Формат бумаги  $60 \times 84^{1/16}$ .

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.

Печ. листов 1,5. Тираж 100 экз. Зак. № 886

Типография УО «БелГУТ», ул. Кирова, 34, 246022, г. Гомель.

ЛП № 02330/0494150 от 03.04.2009 г.