

На правах рукописи



ЧЕЧУЛИН ЕВГЕНИЙ СЕРГЕЕВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕЖВАГОННЫХ
СВЯЗЕЙ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ПОЕЗДОВ ПОСТОЯННОГО
ФОРМИРОВАНИЯ**

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Брянский государственный технический университет» на кафедре «Подвижной состав железных дорог»

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
Антипин Дмитрий Яковлевич

Официальные оппоненты: **Орлова Анна Михайловна**,
доктор технических наук, заместитель Генерального директора по научно-техническому развитию Публичного акционерного общества «Научно-производственная корпорация «Объединённая Вагонная Компания»,

Козлов Михаил Петрович,
кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II», доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство»

Ведущая организация – Закрытое акционерное общество Научная организация «Тверской институт вагоностроения» (ЗАО НО «ТИВ»)

Защита состоится «31» мая 2017 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 218.005.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет путей сообщения» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте МГУПС (МИИТ), www.miiit.ru.

Автореферат разослан «__» апреля 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Воронин Николай Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Современный рынок пассажирских перевозок выдвигает новые требования к скоростям движения, комфортности и безопасности отечественного подвижного состава.

На безопасность и комфортность перевозок значительное влияние оказывают параметры межвагонных связей. В настоящее время большинство пассажирских вагонов оборудуется автосцепными устройствами нежесткого типа СА-3 совместно с буферными устройствами и межвагонным переходом. Одной из тенденций совершенствования межвагонных связей пассажирского подвижного состава в России и за рубежом является применение безззорных сцепных устройств. В настоящее время на поездах постоянного формирования конструкции ОАО «Тверской вагоностроительный завод» (вагоны моделей 61-4462, 61-4465, 61-4472, 61-4473, 61-4463, 61-4462, 61-4460, 61-4458), а также на вагонах скоростного межрегионального поезда локомотивной тяги производства ПАО «Крюковский вагоностроительный завод» применяются безззорные сцепные устройства марки БСУ-3. При использовании указанного сцепного устройства появляется возможность отказа от буферных устройств, что и реализовано на вагонах моделей 61-4492, 61-4465, 61-4472, 61-4473. При этом проведенные исследования указывают на прямое влияние наличия буферных устройств на безопасность движения. В этой связи актуальным является вопрос анализа влияния конструктивного исполнения и параметров элементов межвагонных связей пассажирских вагонов на их динамические характеристики и безопасность движения.

Степень разработанности темы исследования. Исследования в области улучшения динамических показателей подвижного состава за счёт модернизации межвагонных связей проводятся коллективами отечественных и зарубежных учёных. Вопросам исследования продольной динамики подвижного состава и разработкой устройств амортизации ударов и межвагонных связей значительное внимание уделяли научные коллективы кафедр «Вагоны и вагонное хозяйство» МГУПС и ПГУПС, «Механика, динамика и прочность машин» БГТУ, а также специалисты ДИИТа.

Созданием современных конструкций сцепных устройств занимаются организации ОАО «ВНИИтрансмаш», Voith Turbo, Dellner и др.

Наряду с указанными исследованиями, существует направление совершенствования конструкций межвагонных связей за счёт применения межвагонных гасителей колебаний, что и легло в основу диссертации. Вопросам применения межвагонных гасителей колебаний для отечественного подвижного состава российскими исследователями уделено мало внимания.

В связи с этим **целью работы** приняты выбор и научное обоснование технических решений межвагонных связей, обеспечивающих комфортность и безопасность движения пассажирских вагонов.

Для достижения указанной цели поставлены и решены следующие задачи.

1. Разработка уточнённой конечно-элементной модели несущей конструкции кузова пассажирского вагона и её верификация.

2. Разработка детализированной компьютерной модели сцепа вагонов и её верификация.

3. Исследование влияния отсутствия буферных устройств на динамические характеристики пассажирских вагонов поездов постоянного формирования.

4. Разработка конструктивных мер, улучшающих динамические параметры пассажирских вагонов поездов постоянного формирования, не оборудованных буферными устройствами.

5. Разработка методики выбора рационального значения коэффициента сопротивления межвагонных гасителей колебаний.

6. Обоснование рационального значения коэффициента сопротивления межвагонных гасителей.

7. Оценка эффективности предложенных конструктивных решений обеспечения наибольшего комфорта и безопасности пассажирских вагонов.

Объектом исследования является пассажирский вагон для поездов постоянного формирования модели 61-4462 производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод».

Принятые допущения и ограничения.

1. Рассматривалась эксплуатация четырёхосных одноэтажных пассажирских вагонов на магистральных путях ОАО «РЖД».

2. Несущие элементы межвагонных связей в моделях представляются в виде систем абсолютно твёрдых тел и их упругие свойства не учитываются.

3. В работе рассмотрены поезда постоянного формирования, оборудованные сцепным устройством БСУ-3 и поглощающим аппаратом Р5-П.

4. При учёте упругих свойств кузова в гибридной модели не учитывается влияние легковесного оборудования и элементов интерьера пассажирского салона.

5. В работе определяются рациональные диссипативные свойства межвагонных гасителей колебаний.

6. При обосновании рациональных значений параметров межвагонных связей не рассматриваются аварийные режимы эксплуатации.

Методология и методы исследования. Проведённые исследования основываются на использовании метода конечных элементов, твердотельного и гибридного компьютерного моделирования, достоверность результатов которых подтверждается данными натурных испытаний.

Научная новизна исследований заключается в следующем:

1. Разработана гибридная компьютерная модель пятивагонного сцепа поезда постоянного формирования с уточнённым описанием работы межвагонных связей.

2. Изучено влияние отсутствия буферных устройств на динамические характеристики вагона.

3. Предложена новая конструктивная схема межвагонной связи пассажирских поездов постоянного формирования, не оборудованных буферными устройствами.

4. Разработана методика выбора рационального значения коэффициента сопротивления межвагонных гасителей колебаний.

5. Определены рациональные значения моментов сопротивления гасителей колебаний пассажирских вагонов поездов постоянного формирования.

Теоретическая и практическая значимость работы.

1. Предложенные в работе детализированные компьютерные модели сцепа позволяют уточнить результаты оценки динамических параметров пассажирских вагонов поездов постоянного формирования методами математического моделирования.

2. Подтверждено ухудшение динамических характеристик пассажирских вагонов поездов постоянного формирования при отсутствии в их конструкции буферных устройств.

3. Разработанные конструктивные решения межвагонных связей поездов постоянного формирования позволяют улучшить динамические характеристики вагонов при снижении их тары.

4. Предложена методика, позволяющая на стадии проектирования определять рациональные значения коэффициента сопротивления межвагонных гасителей колебаний.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Уточнённая гибридная компьютерная модель сцепа вагонов поездов постоянного формирования.

2. Результаты оценки динамических характеристик пассажирских вагонов поездов постоянного формирования, не оборудованных буферными устройствами.

3. Конструктивные решения межвагонных связей поездов постоянного формирования, позволяющие улучшить динамические характеристики вагонов при снижении их тары.

4. Методика выбора рационального значения коэффициента сопротивления межвагонных гасителей колебаний.

5. Результаты теоретических исследований по обоснованию технических решений межвагонных связей пассажирских вагонов поездов постоянного формирования.

Обоснованность и достоверность результатов исследований подтверждается допустимой сходимостью результатов работы с данными натурных статических и динамических испытаний.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийской конференции молодых учёных и специалистов «Будущее машиностроения России» (МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, 2013 гг.); международной научно-практической конференции «Достижения молодых учёных в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании» (БГТУ, 2012, 2013, 2014, 2015 гг.), 24-й международной инновационно-ориентированной конференции молодых ученых и студентов «Актуальные проблемы машиноведения» (ИМАШ РАН, 2012 г.) и научных семинарах, проводимых на базе БГТУ.

Публикации. Основные положения диссертационной работы и научные результаты опубликованы в 10 печатных работах. Две статьи опубликованы в журналах, входящих в Перечень изданий, рекомендованный ВАК России для публикации научных результатов диссертаций, одна из которых в журнале, входящем в международную базу цитирования Scopus.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов, списка литературы, состоящего из 113 наименований. Общий объем диссертации составляет 120 страниц машинописного текста, содержит 79 рисунков и 10 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводятся обоснование актуальности темы диссертации, степень разработанности темы исследования, цель и задачи исследования, указаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту, обоснованность и достоверность полученных результатов и апробация работы.

В первом разделе диссертации проведен обзор существующих конструкций межвагонных связей отечественного и зарубежного производства: буферных устройств, межвагонных переходов и сцепных устройств. Также проведен обзор технических решений по установке гасителей колебаний на вагоне.

При движении подвижного состава кузов вагона испытывает колебаний по шести степеням свободы, вызванные неровностями рельсов. Мировой опыт конструирования пассажирского подвижного состава железных дорог показывает, что для диссипации энергии указанных видов колебаний традиционно используются гидравлические гасители колебаний.

Анализ опыта использования гидравлических гасителей колебаний на подвижном составе указывает на возможность выделить несколько вариантов установки гасителей на вагоне: между элементами тележки, между тележкой и кузовом вагона, между кузовами смежных вагонов, между кузовом вагона и сцепным устройством.

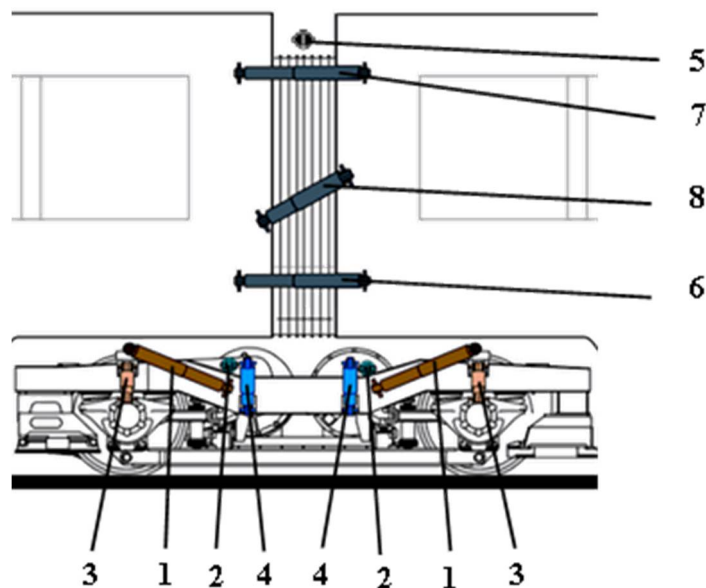
Устанавливаемые на подвижной состав гасители предназначаются как для гашения отдельных линейных или угловых видов колебаний, так и обеспечения гашения сразу нескольких видов колебаний кузовов.

Для обеспечения требуемых динамических качеств подвижного состава возможно совмещение или комбинирование различных вариантов установки гасителей. На современном высокоскоростном подвижном составе используются системы, обеспечивающие гашение колебаний по всем степеням свободы (рисунок 1). Подобные гасители колебаний выпускаются крупными мировыми производителями, такими как ZF, Alstom, SV-Shocks, Delkor Rail, ITT, Knorr-Bremse, Dellner и др.

Для использования гасителей колебаний на подвижном составе необходимо определить их рациональные параметры путем проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований динамики подвижного состава. Экспериментальные исследования не позволяют производить многовариантные расчёты. Они могут служить только в качестве подтверждения проведённых расчётов. В связи с этим в качестве основного инструмента исследования целесообразно использовать теоретический метод.

Изучением колебательных процессов подвижного состава и причинами их возникновения занимались следующие учёные: МГУПС (МИИТа) –

Вершинский С.В., Хусидов В.Д., Винокуров М.В., Хохлов А.А., Анисимов П.С., Савоськин А.Н., Филиппов В.Н., Киселёв В.И., Петров Г.И., Сердобинцев Е.В., Ковалёв Н.А., Короткевич М.А., Бирюков И.И., Львов А.А. и др.; ВНИИЖТа – Черкашин Ю.М., Ромен Ю.С., Соколов А.М., Попов А.А.; ПГУПСа (ЛИИЖТа) – Челноков И.И., Бороненко Ю.П., Орлова А.М., Соколов М.М.; НО ТИВ (КФ ВНИИВ) – Юхневский А.А., Василевский В.В., Скачков А.Н., Зайцев А.В.; ВНИКТИ – Коссов В.С., Чаркин В.А., Оганьян Э.С.; БГТУ (БИТМа) – Кобищанов В.В., Погорелов Д.Ю., Селинов В.И., Федяева Г.А., Михальченко Г.С., Михеев Г.В., Ковалёв Р.В.; УрГУПСа – Павлюков А.Э., Бачурин Н.С., Колясов К.М.; РГУПСа – Волков И.В.; Тибилов Т.А.; ДИИТа – Лазарян В.А.; Коротенко М.Л., Ушкалов В.Ф.; Мямлин С.В. и др.



- 1 – гаситель колебаний виляния; 2 – вторичный горизонтальный гаситель;
 3 – вертикальный гаситель колебаний первой ступени подвешивания;
 4 – вертикальный гаситель колебаний второй ступени подвешивания;
 5 – гаситель колебаний боковой качки; 6,7 – нижний и верхний межвагонные гасители колебаний; 8 – наклонный межвагонный гаситель колебаний

Рисунок 1 – Основные способы установки гасителей колебаний

Среди зарубежных исследователей изучением колебательных процессов при движении подвижного состава занимались Гарг В.К., Дуккипати Р.В., Carlbon P., Zhou J., Ren L., Goodall R., Wickens A.H.

Исследованиями напряжённо-деформированного состояния кузовов подвижного состава, включая исследования с применением метода конечных элементов (МКЭ), занимались учёные МГУ ПС (МИИТа) – Шадур Л.А., Котуранов В.Н., Филиппов В.Н., Беспалько С.В., Шевченко П.В., Воронин Н.Н., Козлов М.П., Быков А.И., Проскурнев П.Г., Овечников М.Н. и др.; ВНИИЖТа – Соколов А.М., Черкашин Ю.М., Краснобаев А.М., Барбарич С.С. и др.; ПГУПСа (ЛИИЖТа) – Бороненко Ю.П., Битюцкий А.А., Соколов М.М., Третьяков А.В. и др.; НО ТИВ (КФ ВНИИВ) – Юхневский А.А., Ломаков П.С., Гончаров Д.И.,

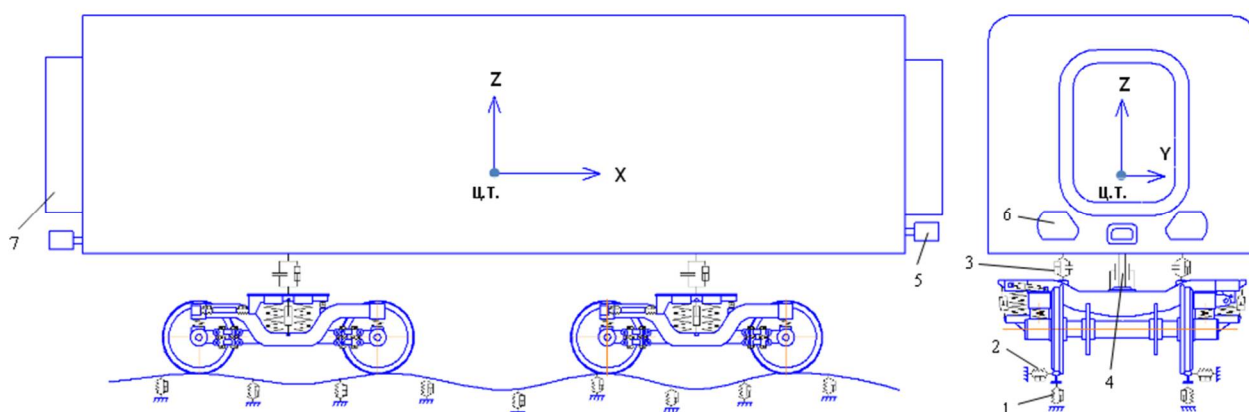
Коршунов С.Д., Василевский В.В.; ВНИКТИ – Волохов Г.М., Огоньян Э.С.; БГТУ (БИТМа) – Кобищанов В.В., Антипин Д.Я., Лозбинев В.П., Ольшевский А.А., Расин Д.Ю., Шорохов С.Г. и др.; УрГУПСа – Лапшин В.Ф., Колясов К.М., Павлюков А.Э, Смолянинов А.В., Бачурин Н.С.

Зарубежными учёными, занимающимися исследованиями подвижного состава с применением МКЭ, являются: Hanson D., Winton M., Randall R. B, Wu P., Zeng J., Dai H., Zhou J., Goodall R., Ren L., Zhang H., Soukup J., Skocilas J., Skocilasova B., Ribeiroa D., Calçadab R., Delgadob R.

На основе анализа состояния вопроса и проводимых исследований сформулированы цель и задачи исследования, допущения, принятые в работе.

Второй раздел посвящён разработке динамической модели сцепа вагонов. Построение твердотельной динамической модели вагона производилось в среде программного комплекса моделирования динамики систем тел «Универсальный механизм». Динамическая модель вагона представлена совокупностью подсистем двух уровней. К подсистеме первого уровня относится подсистема «вагон», включающая в себя подсистемы второго уровня: «сцепное устройство», «буферное устройство», «межвагонный переход», служащие для соединения между собой посредством специальных контактных силовых элементов подсистем первого уровня. Кроме этого подсистемой второго уровня является подсистема «тележка».

В расчётной схеме вагон представлен совокупностью твёрдых тел с реальными инерционными и геометрическими характеристиками (рисунок 2), соединённых между собой контактными и упруго-диссипативными силовыми элементами. Кузов вагона обладает шестью степенями свободы и имеет свойства, соответствующие полностью экипированному вагону с учётом расположения тяжеловесного оборудования.



1 – упруго-диссипативный элемент, моделирующий свойства рельсового полотна в вертикальной плоскости; 2 – упруго-диссипативный элемент, моделирующий упругие свойства рельсового полотна в горизонтальной плоскости; 3 – силовый контактный элемент, моделирующий опирание кузова вагона на скользуны; 4 – линейный силовый элемент, моделирующий ограничения горизонтальных перемещений кузова относительно наддрессорного бруса в пятничковом узле; 5 – подсистема «сцепное устройство»; 6 – подсистема «буферное устройство»; 7 – подсистема «межвагонный переход»

Рисунок 2 – Структурная схема динамической модели вагона

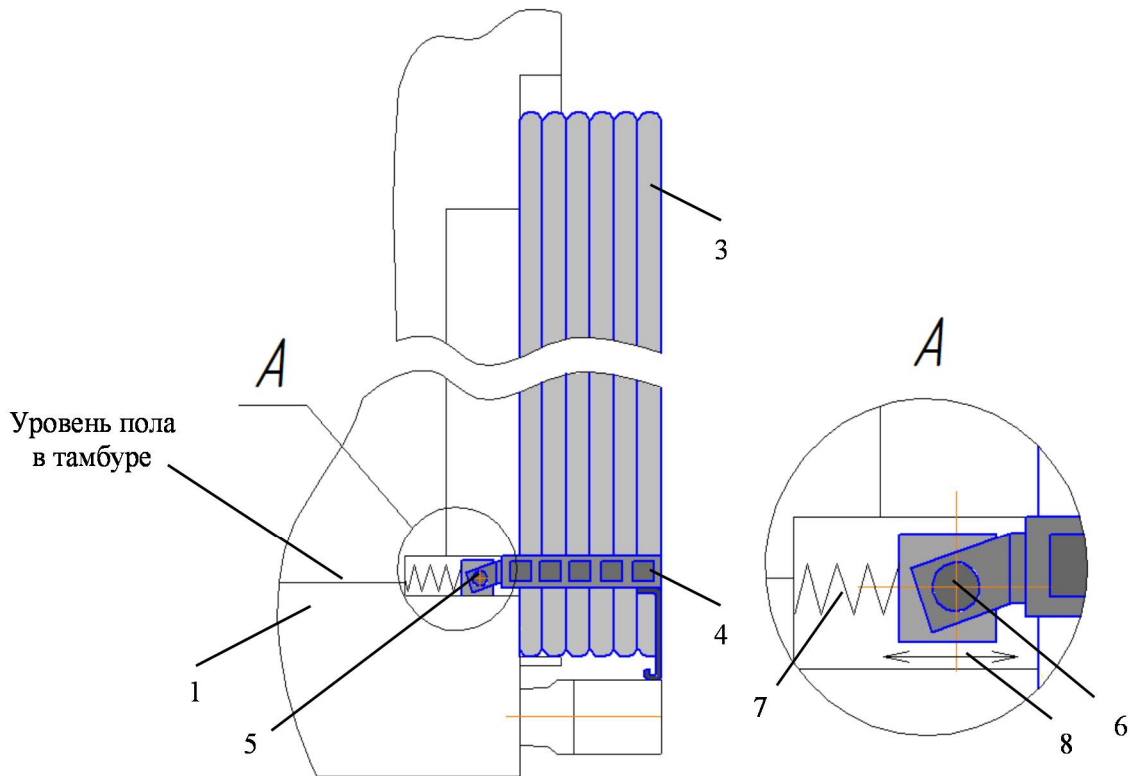
Динамическая модель подсистемы «тележка» представлена совокупностью абсолютно твёрдых тел, соединённых между собой шарнирами и силовыми элементами.

Для исследования усилий, возникающих между вагонами при движении в сцепленном состоянии, к динамической модели вагона посредством подсистем второго уровня, описывающих работу межвагонных связей, при формировании сцепа присоединяются по два аналогичных вагона с каждой стороны.

Межвагонный переход (рисунок 3) представлен совокупностью твёрдых тел, объединённых упругими и контактными элементами, описывающими работу гибкого резино-металлического суфле, переходной площадки, и шарнирно соединённых с кузовом вагона.

Буферное устройство моделируется системой абсолютно твёрдых тел, связанных упруго-диссипативными и контактными элементами.

Контакт тарелей буферных устройств смежных вагонов реализуется введением силовых контактных элементов типа «точка-плоскость».



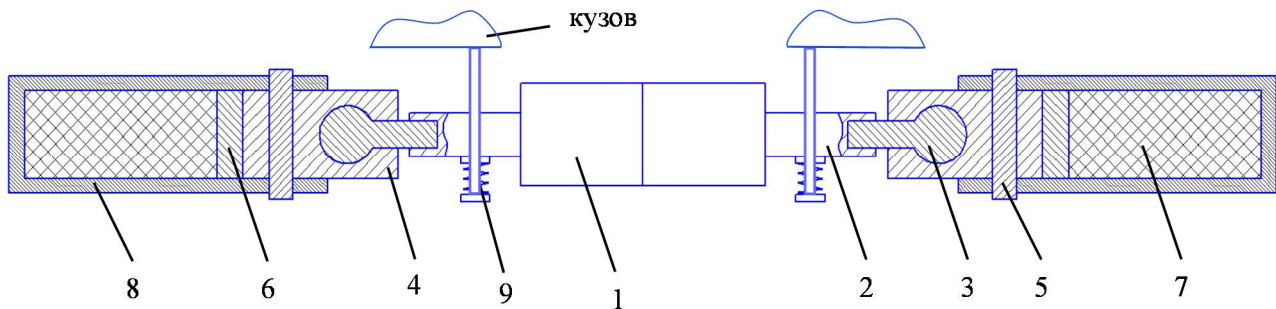
- 1 – кузов вагона; 2 – сцепное устройство; 3 – суфле межвагонного перехода;
 4 – переходный мостик; 5 – шарнирное крепление переходного мостика к кузову вагона; 6 – шарнир вращательный; 7 – упругий элемент;
 8 – шарнир поступательный

Рисунок 3 – Компьютерная модель подсистемы «межвагонный переход»

Подсистема второго уровня «сцепное устройство» (рисунок 4) объединена с резинометаллическим поглощающим аппаратом типа Р-5П. Корпус сцепного устройства представлен в виде абсолютно твёрдого тела, шарнирно соединённого с шарнирным узлом. Шарнирный узел представлен в виде сферическо-

го шарнира, перемещение которого ограничено специальными контактными элементами.

Упругое центрирующее устройство смоделировано с помощью каскада упругих тел и контактных элементов. Поглощающий аппарат Р5-П моделируется с помощью специального упругого нелинейного биполярного элемента с поточечным заданием экспериментальной силовой характеристики.



1 – голова сцепного устройства; 2 – хвостовик сцепного устройства;
3 – шаровый шарнир; 4 – шарнирный узел; 5 – клин тягового хомута;
6 – упорная плита; 7 – упругие элементы поглощающего аппарата;
8 – корпус тягового хомута; 9 – упругое центрирующее устройство
Рисунок 4 – Компьютерная модель подсистемы «сцепное устройство»

Для учёта упруго-диссипативных свойств несущей конструкции кузова вагона при компьютерном моделировании в работе предложено использовать гибридные модели, сформированные на основе вышеописанной твердотельной модели путём замены твердотельного кузова на упругую подсистему.

В конечно-элементной модели все основные несущие элементы кузова представлены четырёхузловыми пластинчатыми изотропными элементами со средним размером 90x90 мм.

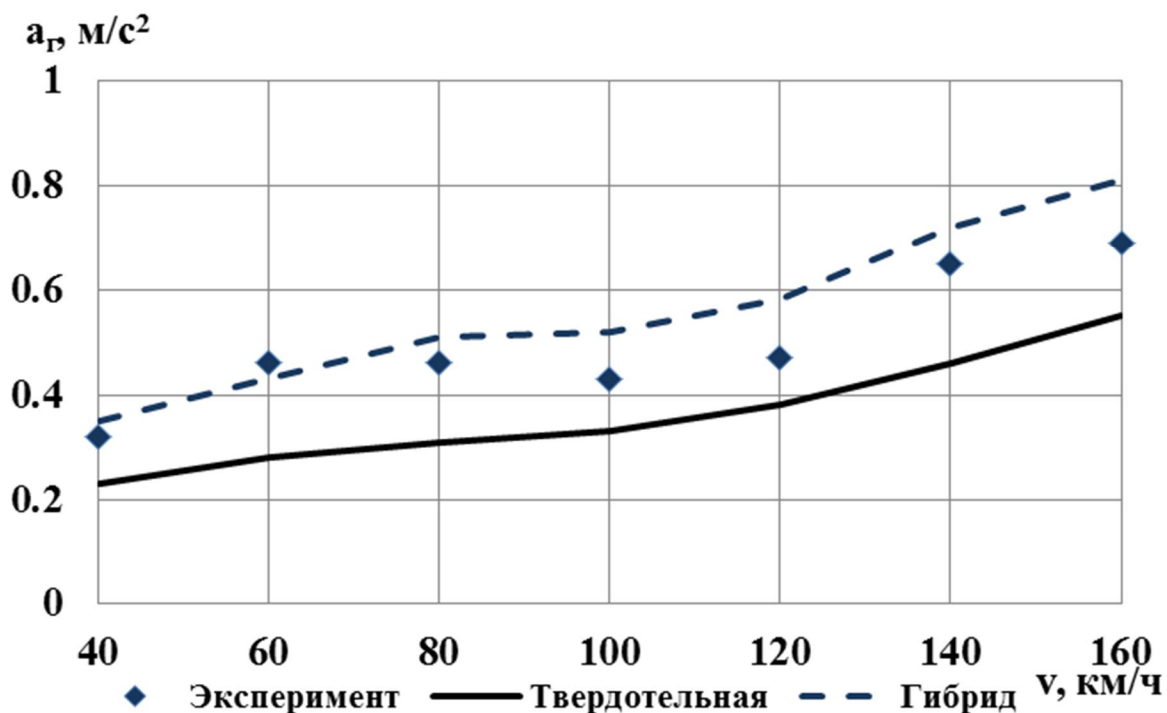
На первом этапе верификации динамической модели вагона проведена верификация разработанной конечно-элементной модели несущей конструкции кузова. Для возможности сопоставления расчётных и экспериментальных данных, в конечно-элементной модели повторены граничные условия и схемы нагружения, соответствующие условиям проведения натуральных стендовых испытаний.

Сопоставление данных конечно-элементного расчёта с результатами испытаний показывает качественное и количественное соответствие напряжений, свидетельствующее о достоверности результатов, полученных при конечно-элементном моделировании.

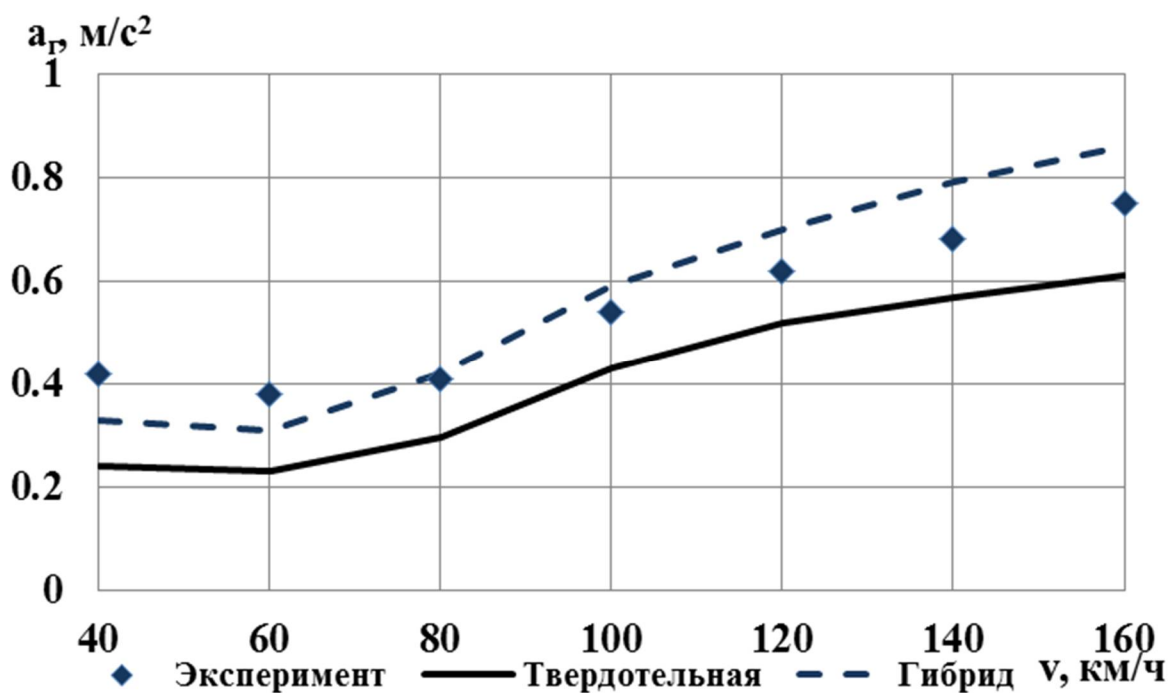
Основываясь на данных натуральных поездных испытаний, выполнена верификация разработанных твердотельной и гибридной моделей вагонов. Сравнение выполнялось по следующим параметрам: данным вертикальных и горизонтальных ускорений на полу в середине кузова a_v , a_g ; коэффициентам вертикальной динамики в нетормозном конце вагона в зоне буксы $K_{д1}$ и подпятниковой зоне $K_{д}$; рамной силы N_p , действующей на раму тележки нетормозного конца

вагона в подпятниковой зоне; показателям плавности хода, определяемым при движении вагона по прямым участкам пути.

В качестве примера на рисунке 5 представлены графики зависимостей горизонтальных ускорений от скорости движения для компьютерного моделирования и результатов испытаний.



а



б

а — ускорения на прямой; б — ускорения на криволинейных участках
Рисунок 5 — Зависимость горизонтальных ускорений кузова от скорости движения вагона

Сравнение результатов моделирования и испытаний показало, что максимальное расхождение экспериментальных и расчётных данных не превышает 39 % для твердотельной модели и 28 % для гибридной модели.

На следующем этапе верификации модели для оценки влияния учёта сосредоточенных масс тяжеловесного оборудования на динамические показатели проведено моделирование движения сцепа по прямому участку пути. Для этого упругая модель кузова была дополнена тяжеловесным оборудованием: котлом, аккумуляторными батареями, кондиционером, большим водяным баком, малым водяным баком, фекальным баком.

Учёт влияния на динамические характеристики кузова тяжеловесного оборудования производился введением в конечно-элементную модель пространственных объёмных элементов с соответствующими инерциальными и геометрическими характеристиками моделируемого оборудования. Соединение объёмных элементов, описывающих тяжеловесное оборудование с конечно-элементной сеткой, выполнялось с использованием абсолютно жёстких связей.

Результат моделирования показал, что учёт распределения масс тяжеловесного оборудования привёл к уточнению динамических параметров по сравнению с экспериментами с 23,8 % до 13,5 % для вертикальных ускорений и с 18,9 % до 15,6 % для горизонтальных ускорений.

В связи с этим в дальнейших исследованиях использовалась гибридная модель вагона с учётом распределения сосредоточенных масс тяжеловесного оборудования.

Третий раздел посвящён оценке влияния конструктивных особенностей межвагонных связей на динамические характеристики подвижного состава.

Оценивалось влияние наличия буферных устройств на динамические параметры вагона для двух вариантов сцепов вагонов: оборудованных буферными устройствами и без буферных устройств.

Для этого рассматривалось движение сцепа из пяти вагонов по неровностям пути на прямом участке и в кривых в скоростном интервале 40-160 км/ч и по стрелочному переводу 1/11 со скоростью 5-50 км/ч.

Анализ полученных результатов показал, что отказ от буферных устройств на вагоне приводит к ухудшению динамических показателей, получаемых в горизонтальной плоскости, и практически не влияют на динамические показатели в вертикальной плоскости. А именно, к увеличению горизонтальных ускорений кузова a_r на 4,8 %; показателя плавности хода в горизонтальной плоскости W_r на 2,7 %; силы отжатия рельса F_y на 9,4 %; мощности сил трения по гребню колеса W_r^r на 10,3 %; к уменьшению коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса λ на 13,9 %. В качестве примера на рисунке 6 приведены графики зависимости коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса от скорости движения вагона в кривых.

В связи с установленным ухудшением динамических параметров вагонов при исключении из их конструкции буферных устройств предложены конструктивные меры, обеспечивающие снижение влияния данного эффекта.

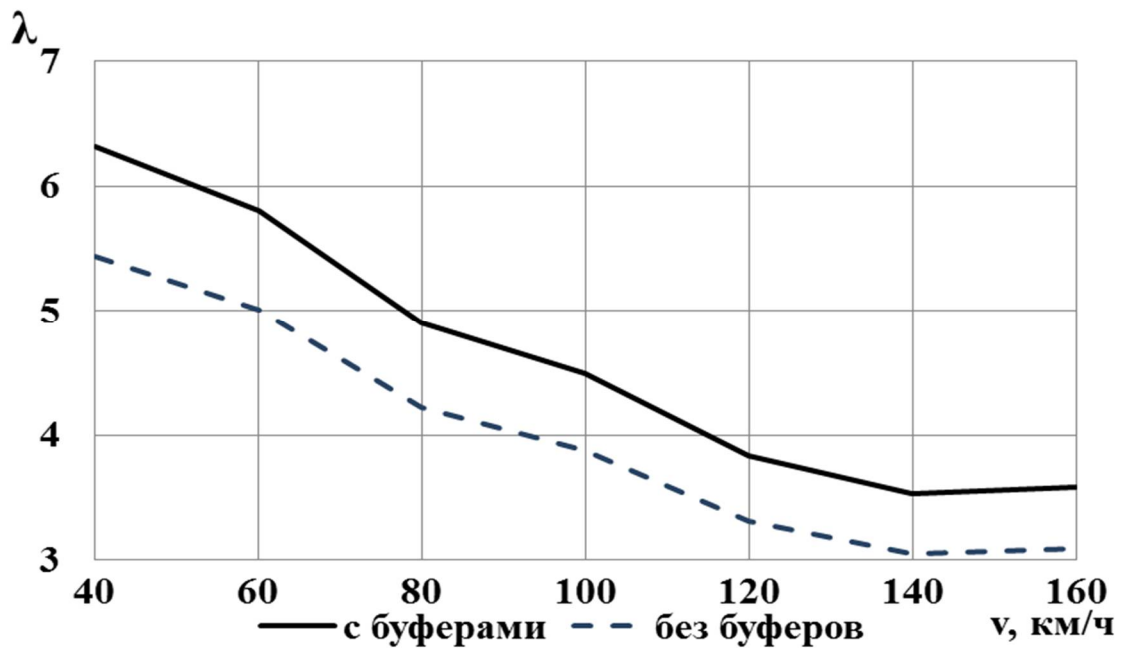


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса λ от скорости движения вагона в кривых

Одним из способов компенсации части функций исключенных буферных устройств, согласно проведенным исследованиям, является применение гидравлических гасителей колебаний. В связи с этим динамическая модель вагона дополнена подсистемой «гаситель колебаний».

Анализ схемы размещения оборудования на торцевых стенах отечественных пассажирских вагонов поездов постоянного формирования и анализ мирового опыта конструирования подобных систем позволил выделить пять зон возможного расположения гасителей колебаний (рисунок 7) и четыре варианта установки гасителей колебаний в межвагонном пространстве.

Первый вариант (рисунок 8, а) соответствует размещению гасителей колебаний в зоне 5

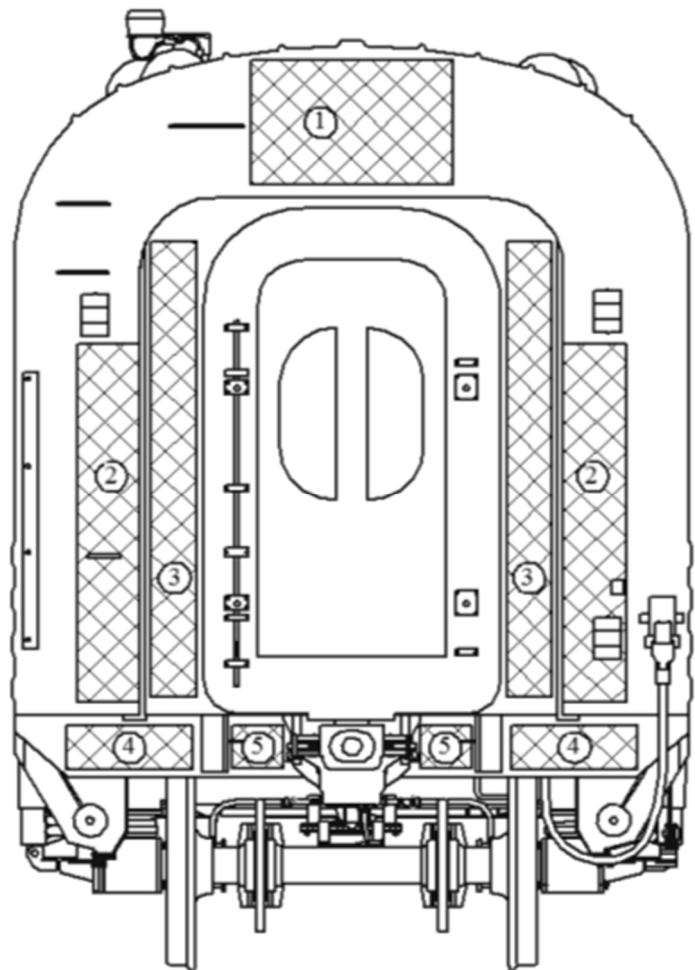


Рисунок 7 – Возможные зоны установки гасителей колебаний

(рисунок 7) с установкой гасителя колебаний одним концом на кронштейне, расположенном на лобовой балке, другим – на головной части сцепного устройства. Рассматривалась установка как одного, так и двух гасителей на голове сцепного устройства.

Второй вариант (рисунок 8, б) соответствует установке кронштейнов гасителей колебаний в зоне 4 (рисунок 7) на максимальном удалении от продольной оси вагона. В данном случае гасители соединяют концевые балки смежных вагонов.

В третьем варианте (рисунок 8, в) предлагается устанавливать гасители между торцевыми стенами в межвагонном пространстве креплением кронштейнов в зоне 2 (рисунок 7) на уровне центра тяжести кузова вагона. Также возможны варианты установки по высоте в пределах зоны.

Четвёртый вариант установки гасителя в межвагонном пространстве (рисунок 8, г) предполагает перекрёстную (диагональную) установку гасителя колебаний над межвагонным переходом в зоне 1 (рисунок 7).

Описанные выше варианты были реализованы в разработанных компьютерных моделях сцепа. Компьютерные модели дополнены гасителями колебаний, расположенными в соответствии с рассматриваемыми схемами.

Выбор наиболее рациональной схемы осуществлялся на основе анализа результатов моделирования движения сцепа из пяти вагонов по неровностям пути на прямом участке пути, в кривых и по стрелочному переводу.

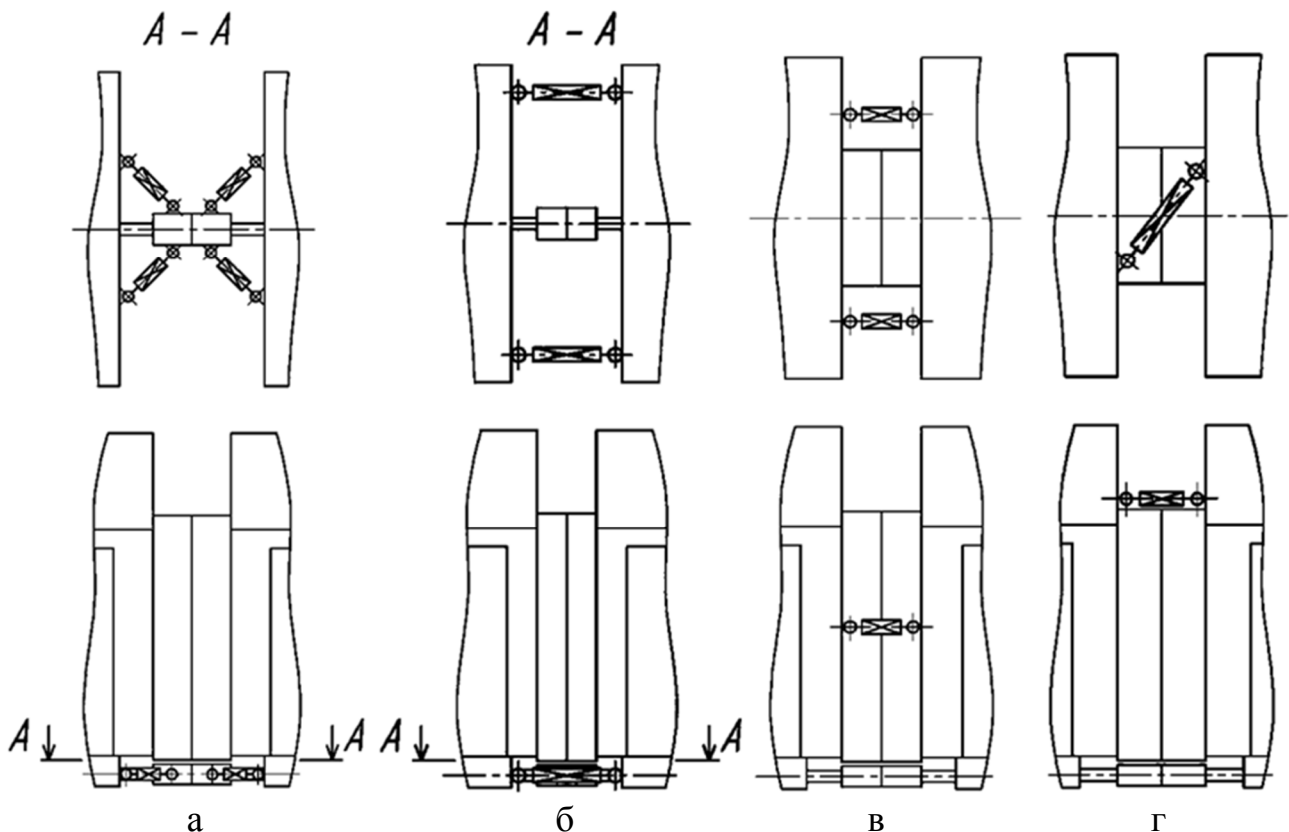


Рисунок 8 – Варианты установки гасителей колебаний

При моделировании для всех гасителей принимался одинаковым коэффициент сопротивления β , равный 25 кН·с/м.

В качестве примера на рисунке 9 представлены данные сравнительного анализа результатов моделирования для базового и предложенных вариантов установки гасителей колебаний в виде графиков зависимостей горизонтальных ускорений a_T от скорости движения. На рисунке базовому варианту соответствует схема вагона с буферными устройствами; варианту 1 – схема, представленная на рисунке 8, а; варианту 2 – схема рисунка 8, б; варианту 3 – схема рисунка 8, в; варианту 4 – схема рисунка 8, г.

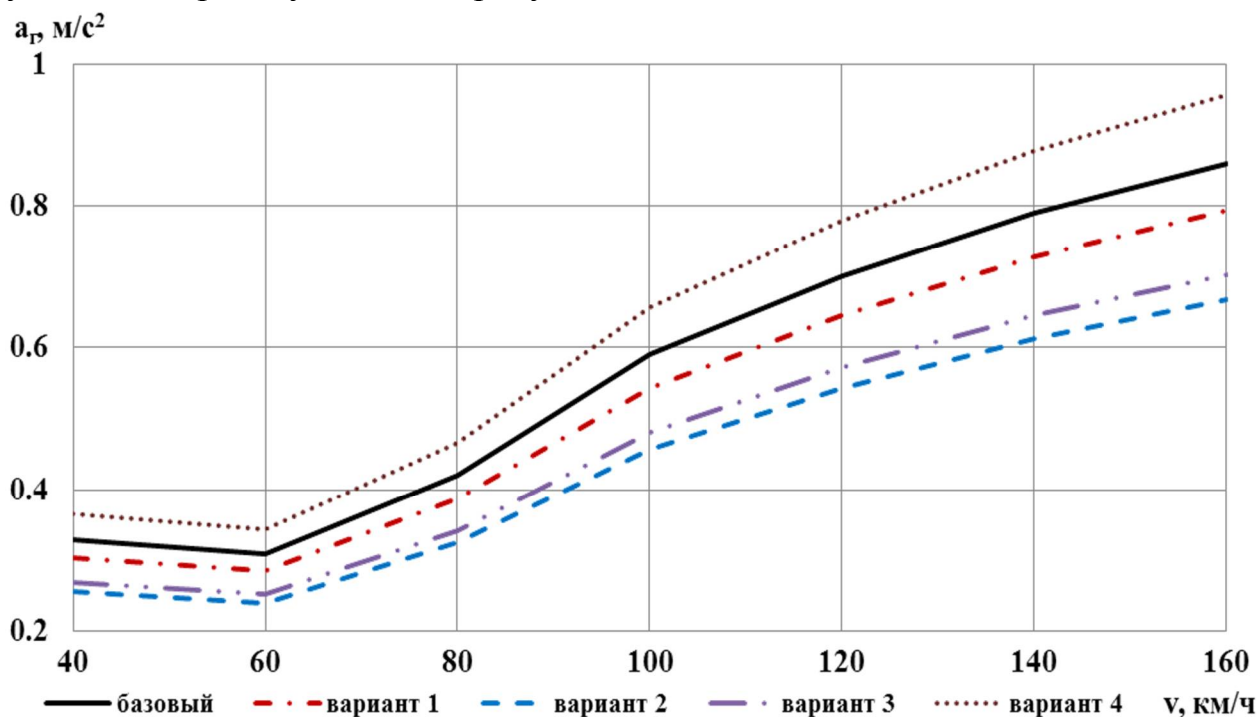


Рисунок 9 – Зависимость горизонтальных ускорений от скорости движения вагона в кривых

Анализ полученных результатов показал, что исходя из принятых выше критериев наиболее рациональным конструктивным решением является вариант 2, предусматривающий размещение гасителей колебаний в межвагонном пространстве между концевыми балками смежных вагонов.

На следующем этапе работы для выбранного варианта расположения межвагонного гасителя методом математического моделирования с использованием разработанной выше динамической модели определялись значения коэффициента сопротивления гидравлического гасителя колебаний, обеспечивающего улучшение динамических параметров подвижного состава.

При моделировании величина сопротивления гасителя изменялась в пределах от 10 до 60 кН·с/м. Анализ полученных результатов показал, что динамические параметры вагона улучшаются при значениях коэффициента сопротивления гасителей колебаний в пределах 30–35 кН·с/м.

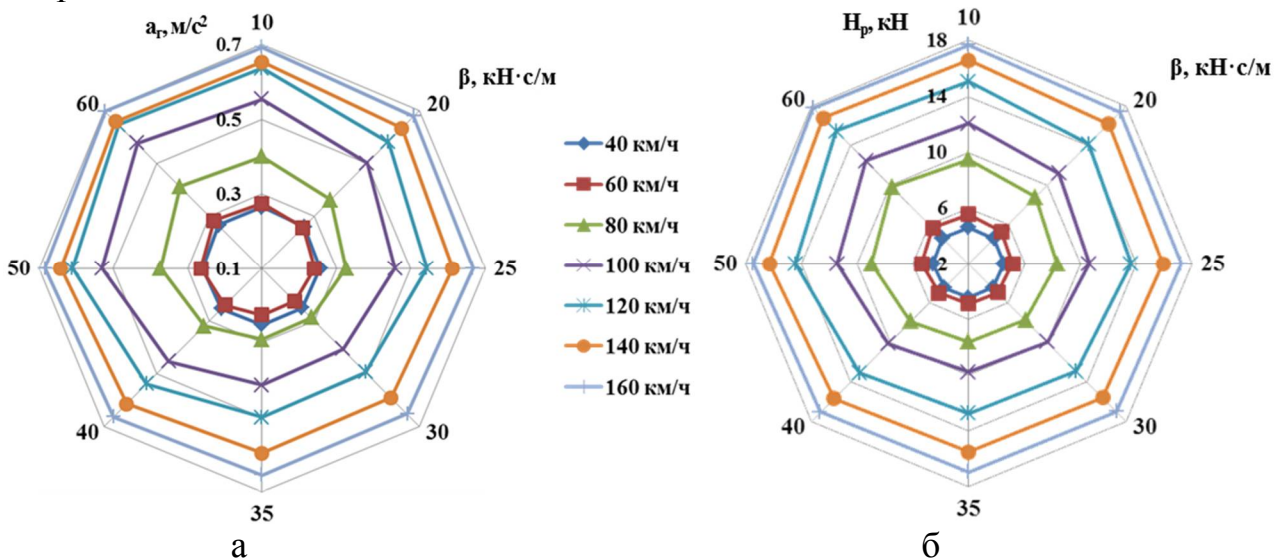
В частности, изменение коэффициента сопротивления β с 10 до 35 кН·с/м при движении в кривых приводит к снижению:

- горизонтальных ускорений a_T при скорости 100 км/ч и коэффициенте сопротивления гасителя 30 кН·с/м на 28,11 %;

- рамных сил H_p при скорости 80 км/ч и коэффициенте сопротивления гасителя 35 кН·с/м на 19,73 %.

На рисунке 10 в качестве иллюстрации приведенных данных изображены лепестковые диаграммы зависимостей динамических параметров от скорости движения и от коэффициента сопротивления гасителя.

При изменении коэффициента сопротивления β с 35 до 60 кН·с/м наблюдается устойчивое ухудшение параметров ходовой динамики для всего диапазона скоростей.



а – для горизонтальных ускорений a_g ; б – для рамных сил H_p

Рисунок 10 – Зависимость динамических параметров от скорости движения v и сопротивления гасителя β в кривых

Как видно из результатов анализа, наибольший эффект от внедрения предлагаемой конструкции межвагонной связи с рациональными значениями коэффициента сопротивления гасителя 35 кН·с/м наблюдается в скоростном интервале от 80 до 120 км/ч.

Указанные выводы свидетельствуют о рациональности предложенного варианта и значения коэффициента сопротивления.

В четвёртом разделе для принятого коэффициента сопротивления гасителя 35 кН·с/м и варианта установки гасителей на вагоне проведено обоснование предложенных в работе конструктивных решений в сравнении с базовым вариантом. Для этого проведено моделирование движения в условиях, аналогичных разделу 3.

В качестве критериев работоспособности рассматривались следующие динамические параметры:

- вертикальные ускорения кузова a_v , m/s^2 ;
- горизонтальные ускорения кузова a_g , m/s^2 ;
- показатель плавности хода в вертикальной плоскости W_B ;
- показатель плавности хода в горизонтальной плоскости W_T ;
- рамные силы H_p , кН;
- силы отжатия рельса $F_{y \max}$, кН;
- мощность сил трения по кругу катания колеса, W_T^k , $(H \cdot m)/с$;

- мощность сил трения по гребню колеса, W_T^r , (Н·м)/с;
- коэффициент запаса устойчивости против схода колеса с рельса λ ;
- коэффициент запаса устойчивости против схода колеса с рельса по критерию Надаля, Nad;
- коэффициент запаса устойчивости против схода колеса с рельса по критерию Вайнштока, Wa.

Анализ полученных результатов показал, что замена буферных устройств на гидравлические гасители колебаний приводит к улучшению динамических показателей, получаемых в горизонтальной плоскости, и к незначительному улучшению динамических показателей в вертикальной плоскости.

Применение гидравлических гасителей приводит к снижению:

- горизонтальных ускорений кузова в кривых до 30,4 %; на стрелочном переводе до 28,18 %;
- показателя плавности хода в горизонтальной плоскости на кривом участке пути до 24,04 %;
- рамных сил на кривом участке пути до 24,5 %;
- сил отжатия рельса на кривом участке пути до 19,5 %;
- мощности сил трения в контакте колесо-рельс по гребню колеса на кривом участке пути до 14,4 %;
- коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса по критериям Надаля и Вайнштока до 14,3 % и 15,1 % соответственно.

Применение гидравлических гасителей колебаний приводит к увеличению коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса до 16,7 %.

Рамные силы и показатель плавности хода в горизонтальной плоскости для прямого участка пути, а также динамические параметры, определяемые в вертикальной плоскости, имеют незначительное уменьшение своих значений.

Также проводилась оценка влияния предложенных конструктивных решений на динамические характеристики в кривых малого радиуса. Рассматривалось движение сцепа по неровностям пути:

- в кривой радиусом 80 м со скоростью 5 км/ч;
- в кривой радиусом 120 м со скоростью 5 км/ч;
- S-образной кривой радиусом 300 м в скоростном интервале 20-80 км/ч с шагом 10 км/ч;
- S-образной кривой радиусом 170 м со скоростью 5 км/ч.

Для кривой радиусом 80 м рамные силы и коэффициент запаса устойчивости от схода с рельсов превышает допустимые нормами значения, что свидетельствует о невозможности прохождения кривых указанного радиуса сцепом из рассматриваемых вагонов, как не оборудованных межвагонными гасителями, так и оборудованных ими.

Для остальных случаев наблюдается улучшение динамических параметров с допустимыми нормами значениями.

Оценка влияния предложенных конструктивных решений на показатели продольной динамики показала увеличение продольных усилий

до 8,6 % при движении по прямому участку пути и до 6,3 % в кривых. Это происходит за счёт исключения из конструкции двух комплектов, состоящих из двух последовательно установленных пружин, установленных в стаканах буферных устройств.

Заключение

По итогам проведённых исследований получены следующие результаты:

1. Разработана уточнённая конечно-элементная модель несущей конструкции кузова пассажирского вагона и проведена её верификация.
2. Разработана детализированная компьютерная модель сцепа вагонов поезда постоянного формирования и проведена её верификация.
3. Исследовано влияние отсутствия буферных устройств на динамические характеристики пассажирских вагонов поездов постоянного формирования.
4. Разработаны конструктивные меры, способствующие улучшению динамических параметров пассажирских вагонов поездов постоянного формирования, не оборудованных буферными устройствами.
5. Разработана методика выбора рационального значения коэффициента сопротивления межвагонных гасителей колебаний.
6. Приведено обоснование рационального значения коэффициента сопротивления межвагонных гасителей.
7. Оценена эффективность предложенных конструктивных решений, обеспечивающих наибольший комфорт и безопасность пассажирских вагонов.

По итогам проведенных исследований можно сделать следующие рекомендации.

На вагонах поездов постоянного формирования при отказе от буферных устройств рекомендуется устанавливать гасители колебаний между концевыми балками на максимальном удалении от продольной оси вагона. Для серийных вагонов ОАО «Тверской вагоностроительный завод» использовать параметры гасителей колебаний в пределах 30-35 кН·с/м. Для новых конструкций вагонов со значительно отличающимися характеристиками по массе и подвешиванию рекомендуется определять параметры по предлагаемой в работе методике (с расположением гасителей между концевыми балками смежных вагонов).

Перспективы дальнейшей разработки темы представляются возможными в следующих направлениях.

Для улучшения динамических характеристик отечественных вагонов поездов постоянного формирования целесообразно проведение исследований:

- по обоснованию рациональных параметров поглощающего аппарата сцепного устройства;
- по анализу возможности использования одновременно нескольких из предложенных схем установки гасителей колебаний;

- по оценке влияния предлагаемых конструктивных изменений в конструкции межвагонных связей пассажирских вагонов на безопасность в аварийных ситуациях.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

публикации в печатных изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Чечулин, Е.С. Влияние конструкции межвагонных связей пассажирских вагонов на их динамические характеристики/ Е.С. Чечулин, Д.Я. Антипин, В.В. Кобищанов, Д.Ю. Расин// Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – №4. – С. 28-31.

2. Kobishchanov, V. Justification of technical solutions of intercar gangway based on solid-state mathematical modeling/ Kobishchanov, V., Antipin, D., Chechulin, E., Kolyasov, K.// Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2015. – 2016. – P. 7414893.

публикации в прочих изданиях

3. Ашуркова, С.Н. Обоснование применения гибридных моделей кузовов пассажирских вагонов/ С.Н. Ашуркова, Е.С. Чечулин// Современные инновации в науке и технике. Сборник научных трудов 6-ой Международной научно-практической конференции. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2016. – С. 30-33.

4. Чечулин, Е.С. Анализ влияния параметров межвагонного перехода на динамические характеристики отечественного пассажирского вагона/ Е.С. Чечулин// Будущее машиностроения России: сб. тр. Всерос. конф. молодых ученых и специалистов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – С. 272-273.

5. Чечулин, Е.С. Обоснование технических решений по снижению уровня колебаний виляния кузовов пассажирских вагонов/ Е.С. Чечулин// Современные проблемы машиноведения: тез. докл. IX Междунар. науч.-техн. конф. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2012. – С. 21-22.

6. Чечулин, Е.С. Исследование динамических параметров пассажирских вагонов оборудованных модернизированными межвагонными связями / Е.С. Чечулин// Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2012. – С. 57.

7. Чечулин, Е.С. Оценка безопасности пассажирских вагонов, оборудованных модернизированными межвагонными связями/ Е.С. Чечулин// XXIV Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов «Актуальные проблемы машиноведения» (МИКМУС - 2012): Труды конференции. – М.: ИМАШ РАН, 2012. – С. 197-200.

8. Чечулин, Е.С. Исследование влияния параметров межвагонных связей на переходные процессы движения пассажирского подвижного состава/ Е.С. Чечулин// Будущее машиностроения России: сб. тр. Всерос. конф. молодых ученых и специалистов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – С. 282-283.

9. Чечулин, Е.С. Анализ влияния дополнительных межвагонных связей на безопасность пассажирских вагонов постоянного формирования/ Е.С. Чечулин// Сборник материалов Всерос., научно-практической конференции «Информационно-телекоммуникационные системы и технологии» [Электронный ресурс]. – «Кемерово: Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева», 2015. – С. 527-529.

10. Чечулин, Е.С. Обоснование выбора конструктивных решений межвагонных гасителей колебаний виляния/ Е.С. Чечулин// Проблемы и перспективы развития вагоностроения. Материалы VII Всероссийской науч.-практ. конф. [Текст] + [Электронный ресурс]/ под ред. В.В. Кобищанова. – Брянск: БГТУ, 2016. – С.152 – 156.

ЧЕЧУЛИН ЕВГЕНИЙ СЕРГЕЕВИЧ

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕЖВАГОННЫХ СВЯЗЕЙ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ПОЕЗДОВ ПОСТОЯННОГО ФОРМИРОВАНИЯ

Специальность 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать
Усл.-печ. л. – 1

Заказ №

Формат 60×90/16
Тираж 80 экз.
