

На правах рукописи



ЛЕБЕДЕВ ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
КОНСТРУКЦИИ ДВУХЭТАЖНОГО
ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА**

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»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Кобищанов Владимир Владимирович.

Официальные оппоненты: **Овечников Михаил Николаевич**,
доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отделения «Динамика и прочность» Открытого акционерного общества «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава»;
Гончаров Дмитрий Игоревич,
кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Кузовов, внутреннего оборудования пассажирских вагонов и САПР» Закрытого акционерного общества научной организации «Тверской институт вагоностроения».

Ведущая организация: ОАО «НИИ вагоностроения» (ОАО «НИИ В»), г. Москва.

Защита состоится «31» мая 2017 г., в 15.00 на заседании диссертационного совета Д218.005.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II» (МГУПС (МИИТ)) 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.mii.ru.

Автореферат разослан «___» апреля 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Воронин Н.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В большинстве развитых стран мира пассажирский железнодорожный транспорт занимает большую часть пассажирских перевозок. Парк пассажирских вагонов помимо одноэтажных составляют вагоны двухэтажные.

В последнее время на железных дорогах России стали появляться новые пассажирские двухэтажные вагоны российского производства. Это событие было приурочено к XXII зимним Олимпийским играм, проводившимся в городе Сочи в 2014 году. К тому же этому появлению, в свою очередь, способствовали кризисные явления в экономике страны. Применение двухэтажных вагонов позволяет повысить вместимость поезда (в отношении одноэтажных вагонов), снизить стоимость билета для пассажира, снизить затраты на перевозку одного пассажира. Но у этих вагонов есть и ряд недостатков (в отношении одноэтажных вагонов): большая стоимость приобретения вагона, большая масса, большие габаритные размеры кузова, большая склонность к боковому наклону.

В ходе разработки ходовых частей для новых вагонов выполнялся ряд испытаний. По результатам проведения динамических поездных испытаний было отмечено неудовлетворительность (по «Нормам ...») некоторых динамических параметров, связанных с комфортностью и безопасностью движения новых двухэтажных вагонов. В дальнейшем были предприняты конструктивные решения, позволившие решить проблемы, связанные с безопасностью движения, но остались вопросы в области качества хода и повышения комфортности движения пассажиров этих вагонов.

Степень разработанности проблемы. Степень разработанности тематики не широка, так как вагоны данной конструкции появились на российских железных дорогах сравнительно недавно. Основным вопросом для нового вагона стала разработка кузова отвечающего требованиям «Норм ...». Проблема, связанная с передачей продольных нагрузок в металлоконструкции кузова ввиду изогнутой конструкции рамы, была решена путем продления нижней обвязки концевых частей кузова на всю длину понижения кузова. Данное решение утяжелило и без этого не легкую конструкцию. Стремление к уменьшению массы вагона привело к отказу от буферных устройств, что негативно сказалось на динамических показателях вагона, в частности на горизонтальных ускорениях.

В качестве основы ходовых частей для двухэтажного вагона была принята безлюлечная тележка модели 68-4095, применявшаяся для одноэтажных вагонов нового поколения. По результатам расчетов и испытаний было усилено рессорное подвешивание, установлен стабилизатор бокового наклона, что значительно увеличило угловую жесткость подвешивания. Результаты динамических испытаний показали, что вагон удовлетворяет требованиям «Норм ...», но по некоторым параметрам возможны улучшения.

Также остается много вопросов для дальнейшего совершенствования отечественных двухэтажных пассажирских вагонов.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка и научное обоснование технических решений для обеспечения улучшения качества хода новых отечественных двухэтажных пассажирских вагонов.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- создать расчетную схему кузова отечественного двухэтажного пассажирского вагона, учитывающую упругие свойства материала его несущих элементов;
- анализ схемы из условий прочности на соответствие натурному образцу путем сравнения полученных напряжений с экспериментальными;
- на основе выполненной ранее схемы разработать модель кузова массой брутто. Оценить жесткостные параметры модели кузова путем моделирования вибрационных испытаний. Полученные результаты сравнить с экспериментом;
- разработать динамическую модель тележки отечественного двухэтажного пассажирского вагона по параметрам приближенную к реальной;
- на основе разработанных ранее моделей кузова брутто и тележки создать гибридную динамическую модель вагона. Путем моделирования динамических испытаний подтвердить соответствие модели объекту исследования;
- выполнить анализ результатов динамических испытаний объекта исследования. Наметить пути совершенствования конструкций ходовых частей отечественного двухэтажного пассажирского вагона и смоделировать нововведения на основе разработанной ранее конструкции тележки;
- смоделировать поездные испытания модели двухэтажного вагона с модернизированными ходовыми частями (на условиях ранее производимых испытаний);
- провести анализ полученных данных и сделать вывод о полезности конструктивных нововведений для ходовых частей отечественных двухэтажных пассажирских вагонов.

Научная новизна. Научная новизна исследований заключается в следующем:

1. Создана подробная компьютерная модель отечественного пассажирского купейного двухэтажного вагона (61-4465) методом конечных элементов, позволяющая с достоверной точностью выполнять математический анализ напряженно-деформированного состояния (в соответствии с результатами натурных испытаний).

2. Разработан и обоснован уточненный способ учета влияния распределения массы брутто кузова по его металлоконструкции (при наличии перегородок купе и служебных помещений) на жесткостные параметры кузова отечественного двухэтажного пассажирского вагона.

3. Созданы новые конструкции стабилизирующих устройств бокового наклона кузова двухэтажного пассажирского вагона с подбором жесткостных параметров подвешивания его ходовых частей.

Теоретическая и практическая значимость работы.

1. На этапе проектирования новых пассажирских вагонов может применяться методика моделирования нагружения несущей металлоконструкции кузова массой брутто объемными массовыми элементами с определенными связями в виде стержневых элементов. Методика подтверждена проектировочными расчетами и динамическими испытаниями.

2. Разработана математическая модель кузова двухэтажного пассажирского вагона (61-4465), позволяющая с оптимальной достоверностью определять уровень напряженно-деформированного состояния.

3. Создана компьютерная динамическая модель двухэтажного вагона, позволяющая с приемлемой точностью оценить динамические параметры двухэтажного вагона.

4. Разработаны новые конструктивные решения стабилизирующих устройств и подобраны технические параметры ходовых частей. Выполнена оценка их влияния на динамические параметры вагона, подтверждающая возможность их применения на практике после дополнительных (прочностных и т.п.) исследований.

Методология и методы исследования, применяемые в работе.

Теоретическая методология исследования основывается на методах математического моделирования объекта исследования и его частей, с учетом прочностных и динамических параметров. Для этого применяется метод конечно-элементного моделирования (Siemens PLM Software Femap), метод подсистем при моделировании динамики систем тел («Универсальный механизм»).

К практической методологии относятся испытания объекта исследования (прочностные, динамические).

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Создание и оценка на адекватность конечно-элементной модели кузова двухэтажного пассажирского вагона путем сравнения с экспериментальными напряжениями в наиболее нагруженных зонах. Предложения по совершенствованию конструкции кузова двухэтажного пассажирского вагона.

2. Методика создания модели кузова брутто пассажирского вагона с подтверждением его полезности.

3. Результаты теоретических исследований по обоснованию конструктивных решений системы стабилизации движения отечественного пассажирского вагона.

Обоснованность и достоверность результатов работы подтверждается результатами статических и динамических испытаний, проведенными для ОАО «Тверской вагоностроительный завод».

Апробация работы.

Результаты работы докладывались и обсуждались на научных конференциях, конкурсах: «Будущее машиностроение России» (МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2010г.), «Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании» (БГТУ, 2010 г.), «Будущее машиностроение России», МИКМУС-2010 (Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, 2010 г.), 53-й научной конференции «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук» (МФТИ, 2010 г.), труды «Двенадцатой научно-практической конференции» (МИИТ, 2011), «79-я международная научно-техническая конференция» (Нижний Новгород, 2012) и др.

Публикации. Основные положения диссертационной работы и научные результаты опубликованы в 8 печатных работах. Три статьи опубликованы в журналах, входящих в Перечень изданий, рекомендованный ВАК России для публикации научных результатов диссертаций.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, состоящего из 118 наименований. Общий объем диссертации составляет 178 страниц текста, включает 92 рисунка и 16 таблиц.

Основное содержание работы

В первом разделе рассказывается об актуальности использования двухэтажных пассажирских вагонов, обозначены их основные достоинства и недостатки. Выполнен исторический обзор развития конструкций зарубежных и отечественных двухэтажных пассажирских вагонов. Также рассмотрено развитие методов прочностных и динамических исследований подвижного состава. Определена цель исследования, поставлены задачи и ограничения.

Повышению эффективности работы железнодорожного транспорта в области пассажирских перевозок способствует решение следующих задач: увеличение пассажироместимости вагона, повышение скорости движения поездов, уменьшение стоимости перевозки одного пассажира.

Увеличение вместимости пассажирских вагонов требует значительных изменений в конструкции вагона, что может негативно сказаться на комфортности пассажиров. Степень комфортности зависит от чувства свободы пассажира в салоне вагона. При решении поставленных задач необходимо было достигнуть компромисса между габаритными размерами вагона и вместимостью.

На основе этого был разработан и создан пассажирский вагон с размещением пассажиров в два этажа. К основным преимуществам двухэтажного вагона относительно одноэтажным можно отнести:

- большая пассажироместимость;
- меньшая стоимость проезда с такими же условиями комфортности для пассажира (повышение конкурентоспособности в отношении других видов транспорта);

- меньше расходы на перевозку одного пассажира (повышение рентабельности);

К недостаткам относятся следующие факторы:

- увеличенная масса вагона;
- усложненная конструкция кузова;
- увеличенная цена приобретения вагона;
- большие размеры кузова и как следствие, увеличение габарита и уменьшение свободы эксплуатации на сетях действующих железных дорог.

Усложнение конструкции кузова касается увеличения высоты боковой стены, и понижение салонной части кузова для возможности размещения второго этажа. Понижение кузова исключает возможность размещения подвагонного оборудования на длине базы вагона. Это оборудование размещается внутри вагона. Тем самым все эти факторы сказываются на увеличении высоты центра массы кузова и, в конечном счете, на динамические качества двухэтажного вагона.

Двухэтажный подвижной состав является перспективной областью в сфере пассажирских перевозок отечественного железнодорожного транспорта.

Несмотря на актуальность использования таких вагонов в настоящее время, первые двухэтажные вагоны появились еще в 19 веке. Уже тогда проблема вместимости пассажиров в вагонах более дешевых классов способствовала их созданию.

Первые двухэтажные пассажирские вагоны появились достаточно давно, практически, спустя десять лет после того, как появилась первая железная дорога (1825 год) между английскими городами Дарлингтон и Стоктон. Американская железнодорожная компания «Балтимор энд Огайо» стала первой эксплуатировать поезда, составленные из подобных вагонов (рисунок 1). Конструкцию двухэтажного вагона предложил в 1833 году немецкий инженер Ф. Лист. Двухъярусный, как и обычный одноэтажный пассажирский вагон того времени, конструктивно походил на карету с железнодорожным ходом,



Рисунок 1 – Первые двухэтажные вагоны, эксплуатировавшиеся на американских железных дорогах (фото 1835 г.)

В 2000-х годах в России на Тверском вагоностроительном заводе занялись разработкой и созданием двухэтажных вагонов нового поколения. И уже 1 ноября 2013 года был запущен первый двухэтажный поезд сообщением Москва – Адлер. Выпуск приурочен к XXII Олимпийским зимним играм, прошедшим в 2014 году в городе Сочи.

Во втором разделе создавалась модель кузова двухэтажного вагона и выполнялись статические прочностные исследования на соответствие реальному кузову.

В качестве объекта исследования принят двухэтажный пассажирский вагон (купейный со спальными местами) модели 61–4465. Вагон предназначен для эксплуатации в составе пассажирских поездов на участках электрифицированных железных дорог колеи 1520 мм со скоростями до 160 км/ч.

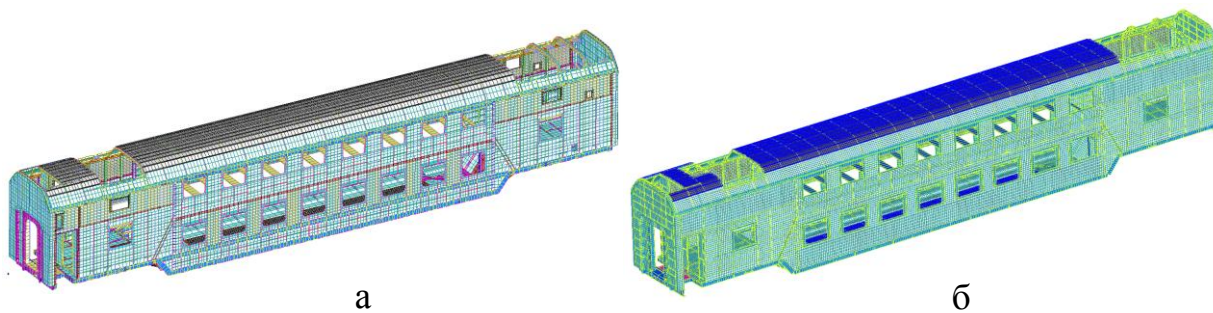
Кузов вагона представляет собой несущую цельнометаллическую сварную конструкцию с отверстиями для окон, дверей и люков, подкрепленную элементами жесткости. На длине базы вагона кузов имеет понижение.

Кузов опирается на две тележки модели 68-4095, предназначенные для эксплуатации под двухэтажными пассажирскими вагонами магистральных дорог колеи 1520 мм. Тележка двухосная, безлюлочного типа с двойным рессорным подвешиванием. В качестве рессор используются двухрядные цилиндрические пружины. Буксы оснащены подшипниками кассетного типа. В центральной ступени подвешивания установлены вертикальные и горизонтальные гасители колебаний. На тележке установлен торсионный стабилизатор бокового наклона кузова.

Для проведения исследований была создана модель кузова двухэтажного пассажирского вагона методом конечных элементов (МКЭ). Реализация МКЭ осуществлялась программным комплексом Siemens PLM Femap 10.3 с решателем MSC Nastran.

Метод конечных элементов является уточненным вариантом метода перемещений, где искомыми факторами считаются упругие перемещения деформированного тела. Исследуемая конструкция представляется деформируемым телом, которое разделяется на конечные элементы (КЭ) соединенные узлами и формирует собой КЭ расчетную схему.

В ходе исследования рассматривались два типа расчетной схемы кузова двухэтажного пассажирского вагона МКЭ (рисунок 2): 1) пластинчатая, 2) пластинчато-стержневая. Пластинчатая модель состоит из порядка $7,2 \times 10^4$ элементов, объединенных $6,3 \times 10^4$ узлами, и имеет $3,8 \times 10^5$ степени свободы. Пластинчато-стержневая модель кузова включает порядка 1×10^5 элементов, объединенных 8×10^4 узлами. Модель обладает $4,8 \times 10^5$ степенями свободы.



а – пластинчатая; б – пластинчато-стержневая

Рисунок 2 – Детализированная конечно-элементная модель кузова двухэтажного пассажирского вагона

Все гофры (трапециевидные и полукруглые) моделировались трапециевидными, по размеру и инерциальным параметрам приближенными к реальным.

При создании КЭ моделей характеристики изотропного материала обеих моделей задавались следующими значениями: модуль Юнга $E = 2,1 \times 10^5$ МН/м², модуль сдвига $G = 0,808$ МН/м², коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$.

На основании соответствия результатов прочностных расчетов результатам натурных стендовых испытаний кузова вагона, полученных для ОАО «Тверской вагоностроительный завод», осуществлялся выбор расчетной схемы. Сравнение производилось по значениям нормальных напряжений в среднем сечении (по оконным проемам, расположенным вблизи середины вагона) и в наиболее нагруженных местах кузова.

Наиболее нагруженные места располагаются в зонах перелома профиля кузова (преимущественно со стороны тормозного конца вагона), в подоконных балках (усиление пониженной части кузова), в хребтовой и шкворневой балках. Сравнение напряжений в зоне от шкворневой до концевой балки не рассматривались, поскольку в ней приложены силы и закрепления. Зона перелома профиля кузова находится на достаточном удалении от мест приложения нагрузки и закреплений, потому сопоставление результатов расчета моделей и испытаний реального кузова в ней можно считать справедливым (на основании принципа Сен-Венана).

Также выполнялось сравнение напряжений по среднему сечению кузова, по оконным проемам, расположенным вблизи середины вагона.

Закрепление расчетных моделей выполнено в соответствии с условиями испытаний. В вертикальном направлении кузов закреплен связями на скользунах. В поперечном горизонтальном направлении кузов имеет связи в пятниковых зонах. Горизонтальная продольная связь кузова выполнена в местах расположения задних и передних упоров автосцепки, при сжатии и растяжении соответственно (со стороны нетормозного конца вагона).

При моделировании статических прочностных испытаний к кузову прикладывались следующие нагрузки: 1) сжимающая 2,5 МН – в местах расположения задних упоров автосцепки; 2) растягивающая 1 МН – в местах расположения передних упоров; 3) нагрузка от собственного веса (брутто) кузова – к полу первого (в концевых и средней частей кузова) и второго этажей. Продольные усилия прикладывались со стороны тормозного конца вагона. Вертикальная и продольная нагрузки выполнены сосредоточенными силами. Распределение вертикальной нагрузки от массы брутто кузова составило:

- первый этаж 364,8 кН;
- второй этаж 214,8 кН.

Результаты, полученные в ходе испытаний моделей кузова двухэтажного вагона, показали, что напряжения, возникающие в среднем сечении кузова пластинчатой и пластинчато-стержневой схем, близки к напряжениям натурных испытаний. Но, выполнив сравнение напряжений в

зоне перелома профиля кузова, можно утверждать, что пластинчатая конечно-элементная модель наиболее адекватно отражает напряженное состояние кузова. Наибольшее отклонение от максимальной величины напряжений эксперимента (сжатие 2,5 МН) для модели пластинчатой и пластинчато-стержневой составило 22 % (217 МПа) и 38 % (170 МПа) (в меньшую сторону) соответственно.

Это заключение дает право в дальнейшей работе использовать только пластинчатую расчетную схему.

К тому же исследование напряженного состояния показало, что кузов обладает достаточным запасом прочности для решения задач по уменьшению массы несущей металлоконструкции. Максимальные напряжения в обшиве крыши и боковой стены на уровне второго этажа малы и не превышают 50 МПа (сжатие 2,5 МН).

Также на основе КЭ модели кузова двухэтажного вагона модели 61-4465 дополнительно выполнялось исследование, направленное на повышение безопасности эксплуатации отечественных двухэтажных пассажирских вагонов. Были рассмотрены некоторые аварийные, чрезвычайные ситуации, требующие незамедлительной эвакуации пассажиров и обслуживающего персонала из вагона. При этом в конструкцию кузова вводились изменения – добавлялись эвакуационные выходы, которые моделировались отверстиями в несущей конструкции. Для аварийной, чрезвычайной ситуации (задымление, пожар и т.д.), в которой вагон стоит на железнодорожном пути или сошел с рельс, но не опрокинулся, пассажиры и обслуживающий персонал покидают его через окна и двери. Для пассажиров второго этажа это достаточно проблематично, поскольку коридор первого этажа может быть занят или перекрыт (огнем), а прыжок из окна второго этажа достаточно травматичен. Для решения этой проблемы рассматривался вариант создания откидной подоконной зоны и окна коридора, и использование надувного трапа для смягчения приземления.

Рассматривалась чрезвычайная ситуация, при которой вагон сошел с рельс и опрокинулся. В таком случае окно принимает потолочное положение, и добраться до него и открыть проблематично. Для решения проблемы рассматривались аварийные выходы для второго этажа – на скате крыши, в зоне коридора и первого этажа – в полу коридора (под вагоном в пониженной части кузова нет навесного оборудования).

Для конструкции кузова с дополнительными аварийными выходами выполнялись расчеты из условия «Нормм ...». Результаты подтвердили возможность таких изменений конструкции кузова двухэтажного пассажирского вагона.

В третьем разделе описывается создание динамической модели двухэтажного вагона, учитывающего жесткостные параметры кузова, смоделированы динамические поездные испытания модели, учитывающие условия проведения натурных динамических испытаний. По результатам испытаний выполнен анализ на соответствие модели натурному образцу.

На основании (принятой ранее) КЭ модели кузова двухэтажного вагона осуществлялось создание модели кузова, обладающей массой брутто кузова.

Масса несущей металлической конструкции кузова двухэтажного пассажирского вагона модели 61-4465 равна 18,1 т. Масса брутто кузова составляет 59,1 т. Большая часть массы приходится на оборудование, отделку и экипировку вагона.

По сравнению с одноэтажными вагонами двухэтажные имеют более высокий уровень положения центра тяжести. Это сказывается на увеличении боковой динамики вагона, безопасности вкатывания колеса на рельс и поперечной устойчивости в движении. Например, положение центра тяжести брутто кузова одноэтажного пассажирского вагона модели 61-4447 составляет 2,22 от уровня головок рельсов, а двухэтажного – 2,72 м. Это объясняется тем, что кузов двухэтажного выше на 0,9 м и большая часть оборудования располагается внутри вагона в концевых частях.

На динамические показатели вагона влияют: масса, положение на кузове, габаритные размеры элементов нагрузки кузова собственным весом (элементы оборудования, отделки, экипировки, полезного груза и т. п.).

Было рассмотрено три способа учета массы элементов нагружения модели кузова двухэтажного пассажирского вагона на основе конечно-элементного метода. В качестве источника данных использовался отчет о распределении массы брутто по кузову вагона модели 61-4465 с вычислением положения координат центров тяжести этих масс.

Для ориентации массы в пространстве создана система координат (X, Y, Z), относительно которой определялось положение центра тяжести кузова. Точка начала координат располагается в левом нижнем углу кузова на расстоянии 490 мм от уровня головок рельс. Ось X направлена вдоль кузова вагона по наружной обшивке левой боковой стены. Ось Y направлена поперек кузова и находится в плоскости, проходящей по низу металлического пола средней части кузова. Ось Z направлена вертикально вверх.

Первый способ предполагает распределение массы брутто кузова двухэтажного вагона по несущей металлоконструкции кузова путем изменения плотности материала. Масса модели кузова равняется 59,1 т.

Второй способ распределения массы заключается в представлении крупноблочного, тяжеловесного оборудования объемными элементами, и изменении плотности материала металлоконструкции кузова. Объемными элементами представлено крупноблочное оборудование, обладающее массой 150 кг и более (рисунок 3). К ним относятся: преобразователь (электрооборудование), блок высоковольтный, кондиционер, водяной бак, автосцепное оборудование, комплект подножек, аккумуляторный бокс,

оборудование ЭЧТК (экологически чистый туалетный комплекс) со сливным баком, межвагонный переход.

Связь элементов тяжеловесного, крупноблочного оборудования с элементами кузова, осуществлялась путем «сшивки» (объединения) совмещенных узлов в местах крепления. Тем самым выполнялось закрепление элементов оборудования на кузове по шести степеням свободы.

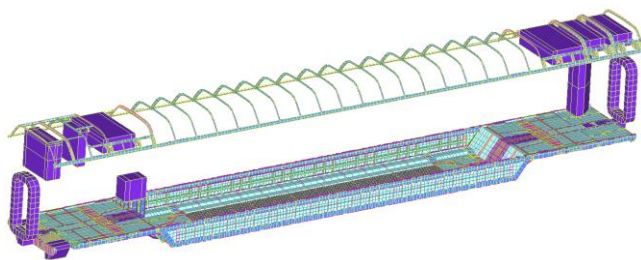
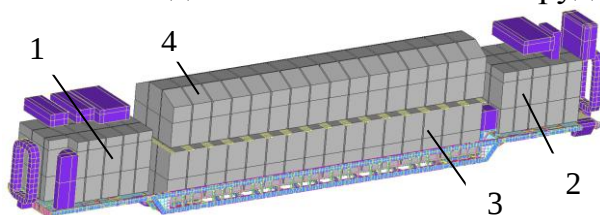


Рисунок. 3 – Крупноблочное тяжеловесное оборудование кузова (в концевых частях)

При моделировании крупноблочного тяжеловесного оборудования масса водяных и фекального баков принималась с учетом их заполнения.

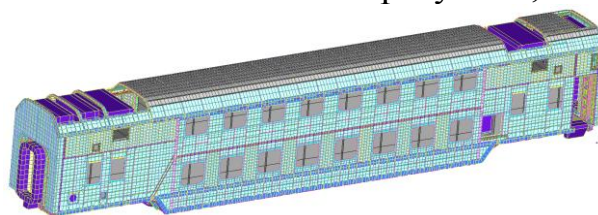
Третий способ включает в себя моделирование крупноблочного, тяжеловесного оборудования объемными элементами, изменение плотности материала металлоконструкции кузова в соответствии с реальной плотностью металла, из которого выполнен аналог (сталь), также в конструкции кузова добавлены объемные весовые элементы, моделирующие массу отделки, оборудования маловесного и распределенного по кузову, элементов внутреннего интерьера, полезной нагрузки и т.п. (далее по тексту элементы общей массы (ЭОМ)). Масса металлоконструкции кузова приближена к аналогу.

Крупноблочное, тяжеловесное оборудование моделировалось в соответствии с условиями второго способа распределения массы по кузову вагона. ЭОМ моделируют расположение остальной массы, кроме крупноблочного, тяжеловесного оборудования и металлоконструкции кузова вагона. Модели тяжеловесного оборудования и ЭОМ показаны на рисунке 4, а.



1 – ЭОМ тормозного конца вагона; 2 – ЭОМ нетормозного конца вагона; 3 – ЭОМ первого этажа; 4 – ЭОМ второго

а



б

а – модели крупноблочного тяжеловесного оборудования и ЭОМ;

б – общий вид модели кузова

Рисунок. 4 – Модель кузова массой брутто, третий способ

Связь ЭОМ осуществлялась в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3.4, при помощи специальных стержневых элементов («rigid»). Такой элемент обладает абсолютной жесткостью и позволяет устанавливать степень свободы перемещения одного узла (узлов) относительно другого, которых он соединяет.

ЭОМ связаны между собой по оси Y и не связаны по оси X, что позволяет исключить их влияние на жесткость кузова в данном направлении. Все связи ЭОМ осуществляются, преимущественно, с подкрепляющими элементами кузова. Также связи моделируют влияние жесткостных свойств перегородок купе и служебных помещений на вертикальную жесткость кузова.

Для каждого способа моделирования массы кузова брутто в координатной системе было определено положение центра тяжести (таблица 1).

Таблица 1 – Координаты центра тяжести

Наименование	Координаты центра тяжести, м		
	X	Y	Z
Первый способ	12,72	1,57	1,72
Второй способ	12,92	1,53	1,85
Третий способ	13,01	1,54	2,19
Реальный вагон	13,02	1,54	2,22

Из таблицы 1 видно, что из всех предложенных способов третий является наиболее приближенным по показателям координатной системы к реальному вагону. Наибольшее отклонение, в данном случае, составляет 0,03 м по оси Z, что в свою очередь, не должно привести к значимым расхождениям динамических параметров модели с результатами поездных испытаний.

Для каждой модели выполнялись динамические вибрационные испытания. Целью исследования является выбор наиболее рациональной расчетной схемы (модели) для создания динамической модели двухэтажного вагона.

Оценка собственных частот и форм изгибных колебаний кузова вагона представляет особый интерес, так как от них зависят показатели плавности хода экипажа. На величину собственной частоты колебания кузова, в основном, влияют следующие факторы: его геометрические размеры, равномерность распределения массы по длине, материал металлоконструкции, изгибная жесткость металлоконструкции.

Исследование выполнялась при следующих условиях.

Адекватность компьютерной КЭ модели оценивалась путем сравнения собственной частоты первого тонового изгибного колебания в вертикальной плоскости с показателями, полученными при стендовых испытаниях реального вагона, и условиями «Норм ...», в соответствии с которыми частота колебаний кузова вагона брутто должна быть не менее 10 Гц.

Определение собственных частот для трех моделей выполнялось методом математического моделирования при помощи расчетного программного комплекса Siemens PLM Femap 10.3 по аналитическим зависимостям. Также выполнен предварительный расчет собственной частоты первого тонового изгибного колебания в вертикальной плоскости с учетом требований п. 5. 12. «Норм ...».

При выполнении МКЭ расчетов закрепление модели брутто кузова осуществлялось в соответствии с условиями натурных испытаний. Результаты компьютерного моделирования МКЭ и предварительный расчет

по условиям «Норм ...», сопоставлены с результатами натурных стендовых испытаний вагона в таблице 2.

Таблица 2 – Значения частот изгибных колебаний кузова

Параметр	Расчеты МКЭ			Натурные стендовые испытания	Расчет по условиям «Норм...»
	Способ 1	Способ 2	Способ 3		
Частота изгибных колебаний кузова, Гц	8,9	9,2	10,3	11,3	13,1

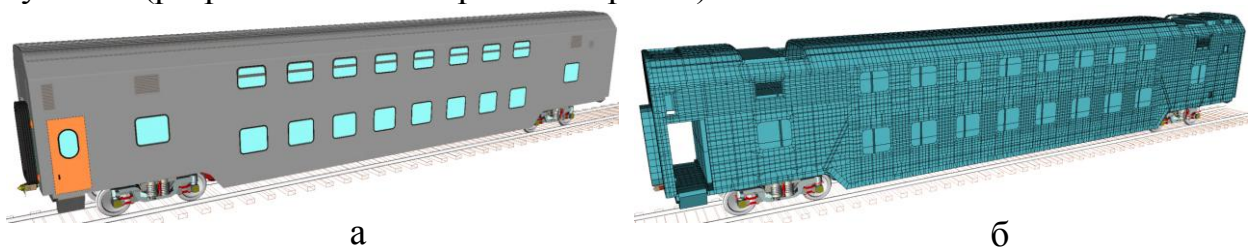
Расхождение результатов стендовых испытаний с предварительным расчетом по условиям «Норм...» составляет до 16 % в большую сторону, что в целом подтверждает справедливость его применения на этапе проектирования.

Наибольшее расхождение с результатами натурных испытаний имеет способ 1 – 21,2 %, при этом величина частоты колебаний не удовлетворяет требованиям п. 5. 12. «Норм ...» (не менее 10 Гц).

Наименьшее расхождение – способ 3 – 8,8 %, результаты которого удовлетворяют требования «Норм ...». Схождению результатов в свою очередь способствовало влияние жесткости моделей купейных и служебных перегородок на изгибную жесткость конструкции кузова.

Для дальнейшего исследования принимается модель кузова брутто, выполненная способом 3 (рисунок 4, б).

Динамическая нагруженность двухэтажного пассажирского вагона оценивалась на основе динамической модели вагона, состоящей из системы связанных тел, описывающих колебания движущегося вагона в трехмерном пространстве. Моделирование осуществлялось с помощью программного комплекса моделирования динамики систем тел «Универсальный механизм». Динамическая расчетная схема вагона выполнялась двумя вариантами (рисунок 5): 1) с твердотельным (абсолютно жестким) кузовом; 2) с упругим кузовом (разработанным и принятым ранее).



а – модель с твердотельным кузовом; б – модель с упругим кузовом

Рисунок 5 – Динамическая модель двухэтажного пассажирского вагона

Для наиболее адекватной оценки, оба варианта испытывались на одной модели тележки.

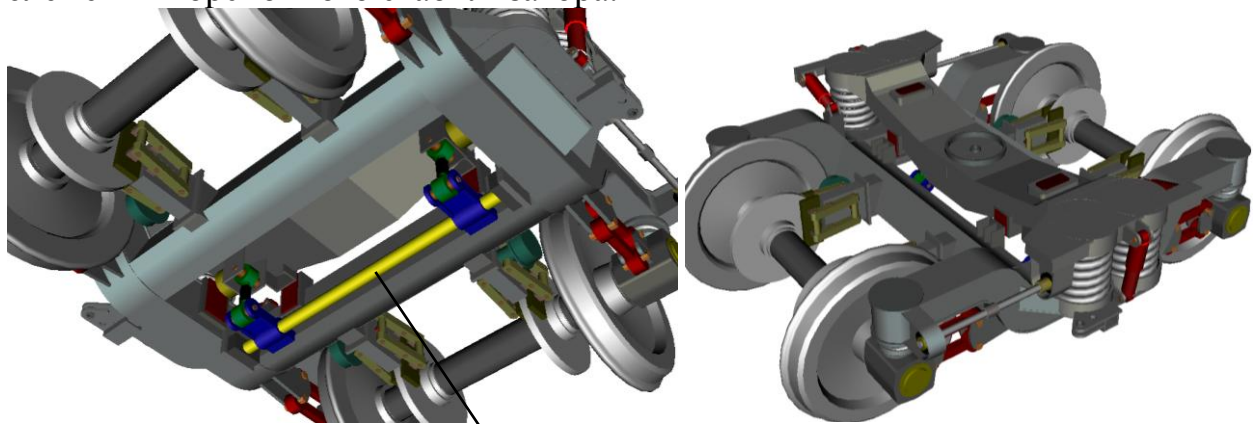
Модель с абсолютно жестким и упругим кузовом выполнена в виде трехмерной гибридной модели двухэтажного вагона, состоящей из подсистемы кузов, подсистем тележка и подсистем сцепное устройство. Абсолютно жесткий кузов имеет шесть степеней свободы и инерциальные, геометрические характеристики, соответствующие реальному кузову брутто. Упругий кузов также обладает инерциальными и геометрическими

характеристиками, приближенными к реальному кузову брутто и количество степеней свободы соответствующее конечно-элементной модели.

Кузов опирается на тележки с помощью контактных силовых элементов типа точка – плоскость, в зоне расположения скользунов.

Перемещения кузова относительно надрессорной балки тележки в горизонтальном поперечном и продольном направлении ограничиваются линейным силовым элементом, моделирующим шкворневой узел.

Динамическая модель тележки (рисунок 6) состоит из абсолютно твердых тел, соединенных шарнирами и силовыми элементами. Твердотельные элементы имеют геометрические и инерциальные характеристики близкие к реальным показателям и обладают шестью степенями свободы. К этим телам относятся: рама, надрессорная балка, буксы, колесные пары, поводки центрального и буксового подвешивания, элементы торсионного стабилизатора.



Торсионный стабилизатор

Рисунок 6 – Динамическая модель тележки (подсистема тележка)

Рама тележки связана с надрессорной балкой пружинами центрального подвешивания, горизонтальными и вертикальными гасителями колебаний, поводком центрального подвешивания и торсионным стабилизатором боковых колебаний. Связь буксы с рамой выполнена буксовой рессорой и буксовыми поводками. Колесную пару и буксу соединяет вращательный шарнир, моделирующий подшипник качения. Пружины центрального и буксового подвешивания смоделированы при помощи линейных силовых элементов, каждый из которых связывает два тела по двум заданным точкам. Гидравлические гасители колебаний представлены биполярными линейными силовыми элементами, каждый из которых соединяет две точки, принадлежащие разным телам. Торсионный стабилизатор состоит из: вала, рычагов, биполярного торсионно-упругого силового элемента (вала), подшипников, подвесок, соединяющих рычаги стабилизатора с надрессорной балкой сферическими шарнирами. Рычаги, вал и подвески выполнены абсолютно жесткими телами. Вал жестко соединен с рычагами, в середине длины разделен на две части, которые по заданным точкам соединяет биполярный торсионно-упругий элемент. Концы торсионного вала соединяются с рамой тележки одноступенными, вращательными шарнирами, моделирующими подшипники.

При наклоне наддрессорной балки возникает смещение точек крепления подвесок в вертикальной плоскости, вследствие чего появляется разнонаправленный поворот рычагов. Угол закручивания биполярного торсионно-упругого силового элемента определяется относительным поворотом точек крепления подвесок к рычагам.

Определяющим фактором при моделировании макрогеометрии кривых участков пути в плане являлась скорость движения экипажа в кривой (в соответствии с условиями натурных испытаний). Структура модели пути также включает в себя микронеровности в вертикальном и горизонтальном направлениях, как случайные неровности пути, которые, генерировались модулем UM Simul на основе методики, описанной в РД 32.68-96.

Поездные испытания моделировались с помощью программного комплекса моделирования динамики систем тел «Универсальный механизм» в модуле UM Simul, осуществляющего интегрирование уравнений движения в трехмерном пространстве.

В качестве **модели вагона 1** представлена модель двухэтажного пассажирского вагона с упругим кузовом. Модель двухэтажного пассажирского вагона с твердотельным кузовом представлена как **модель вагона 2**.

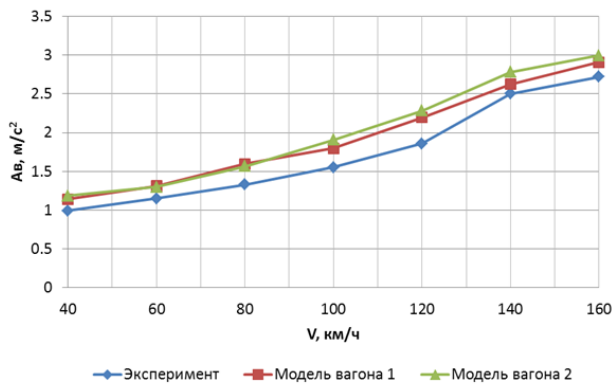
Для обоих вариантов моделирования движение рассматривалось в составе поезда (сцепы) из трех вагонов со следующими условиями: 1) исследуемый вагон расположен в середине состава; 2) движение начинается из положения равновесия; 3) крайние вагоны являются структурными и параметрическими копиями динамической модели с твердотельным кузовом; 4) сцепление вагонов между собой обеспечивает модель безззорного сцепного устройства БСУ-3, представленная абсолютно жестким стержневым элементом, шарнирно соединяющим вагоны; 5) движение сцепы по участкам пути осуществлено за счет присвоения определенной скорости первого по ходу движения вагона и передачи тягового усилия через сцепные устройства (модель БСУ-3) на два последующих вагона; 6) в соответствии с натурными поездными испытаниями, сцеп движется по участкам пути в интервале скоростей от 40 до 160 км/ч, с шагом 20 км/ч.

Сравнение натурального образца (двухэтажного вагона) и его моделей выполнялось по следующим динамическим параметрам (рисунок 7-9):

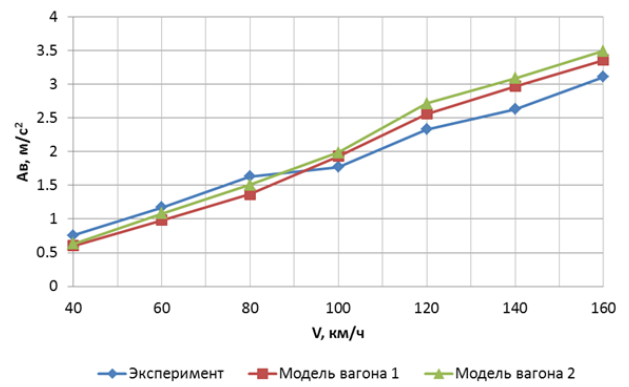
- вертикальные и горизонтальные (поперечные) ускорения кузова;
- коэффициент вертикальной динамики;
- рамные силы;
- показатель плавности хода вагона (в вертикальном направлении);
- коэффициента запаса устойчивости от схода колеса с рельса (при движении по прямому участку пути);
- коэффициент устойчивости от опрокидывания при прохождении кривых.

Анализ полученных при моделировании движения вагона осциллограмм временных зависимостей показателей ходовой динамики вагона осуществляется по их максимальным значениям.

Вертикальные и горизонтальные (поперечные) ускорения определялись в пятниковых зонах кузова, в середине пола первого и второго этажей.



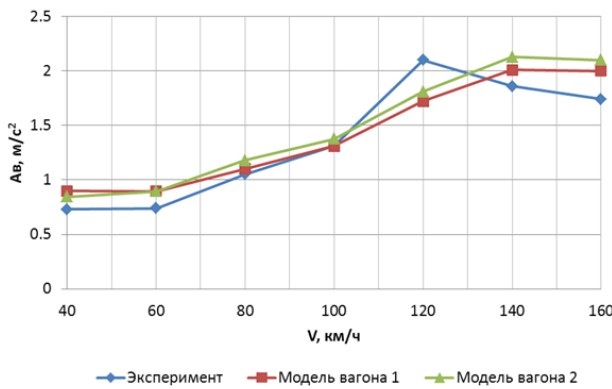
а



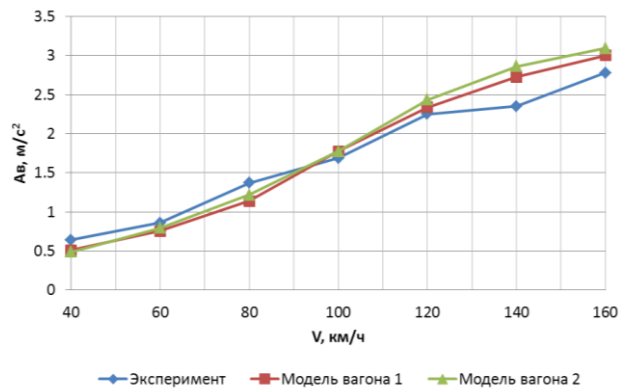
б

а – по прямому участку пути; б – в кривых

Рисунок 7 – Графики зависимости вертикальных ускорений в пятниковой зоне кузова двухэтажного вагона от скорости его движения



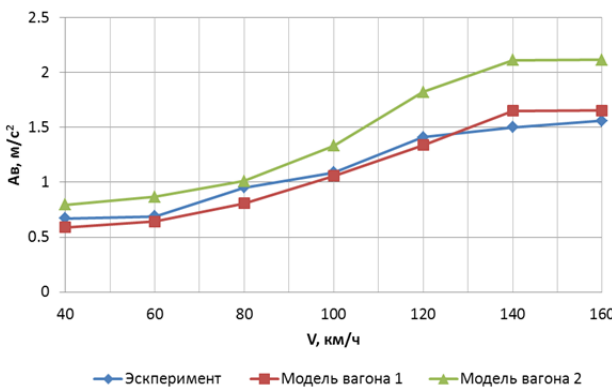
а



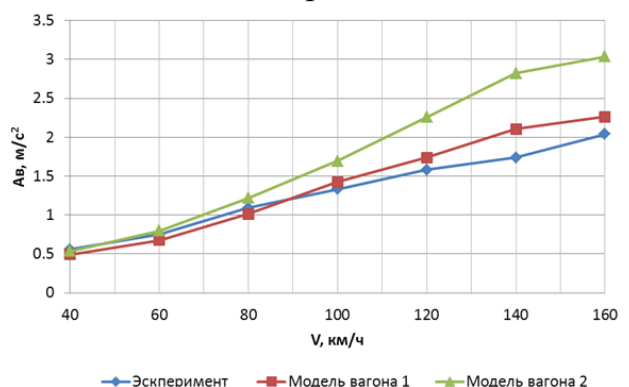
б

а – по прямому участку пути; б – в кривых

Рисунок 8 – Графики зависимости вертикальных ускорений в середине кузова на полу первого этажа двухэтажного вагона от скорости его движения



а



б

а – по прямому участку пути; б – в кривых

Рисунок 9 – Графики зависимости вертикальных ускорений в середине кузова на полу второго этажа двухэтажного вагона от скорости его движения

Сравнив результаты поездных динамических испытаний с результатами моделирования, можно сделать следующие выводы.

Наибольшее расхождение величин вертикальных ускорений с результатами эксперимента прослеживается в зоне пола второго этажа для модели вагона 2 – 36 % в большую сторону, для модели вагона 1 – 15 % в большую сторону. Наибольшее расхождение величин горизонтальных (поперечных) ускорений с результатами эксперимента в пятниковой зоне кузова – для модели вагона 1 – 21 % в меньшую сторону, для модели вагона 2 – 16 % в меньшую сторону. Для величин рамных сил – модель вагона 1 – 26 % в большую сторону, модель вагона 2 – 32 % в большую сторону. По величинам остальных параметров модели вагонов близки.

Вследствие этого, для проведения дальнейших исследований предпочтительно использовать расчетную модель двухэтажного вагона с упругим кузовом.

В четвертом разделе разрабатываются

Рассмотрев результаты испытаний натурного образца отмечается значительную величину вертикальных ускорений и особенно при движении по кривым участкам пути. Также показатель плавности хода в вертикальном направлении имеет (высокие) близкие к допустимым значения. Все это негативно сказывается на ощущении комфортности езды пассажирами и долговечности работы элементов ходовых частей вагона.

Уменьшение вертикальных ускорений кузова двухэтажного вагона с сохранением удовлетворительных величин параметрам безопасности согласно «Нормам...» возможно путем изменения жесткости рессор тележки, но при обязательной компенсации или уменьшении бокового наклона кузова.

Улучшение динамических качеств пассажирского вагона достигается способом использования отдельного восприятия и рассеивания энергии колебаний. Такое разделение достигается путем применения специальных стабилизирующих устройств боковой качки на тележке пассажирского вагона. Отрицательной стороной такого технического решения является усложнение конструкции и увеличение массы тележки.

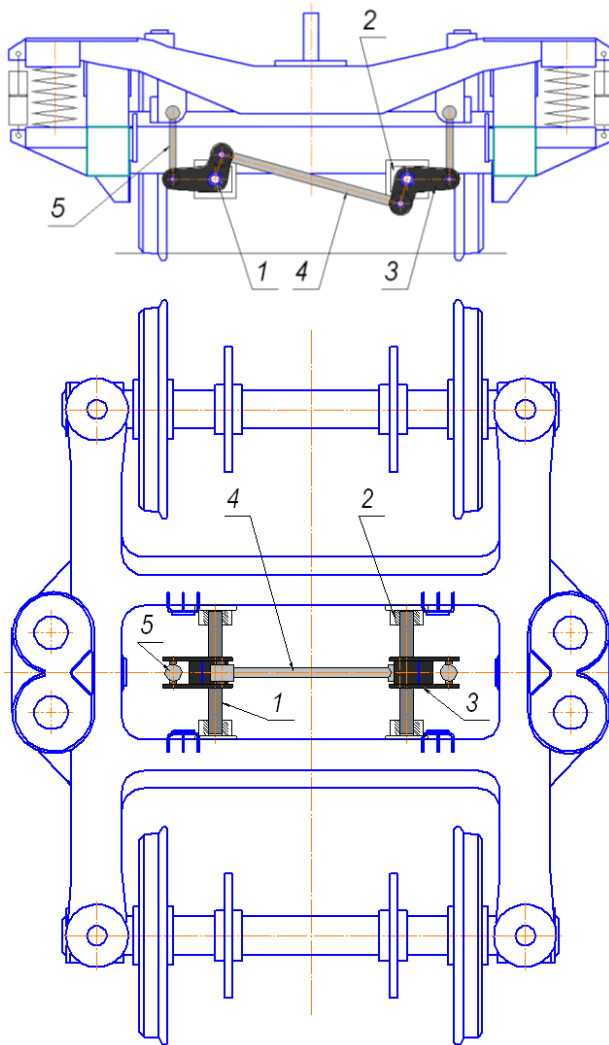
Предложенные в работе варианты стабилизирующих устройств разрабатывались с учетом вписывания тележки в габарит 1-ВМ, габарит тележки аналога (модель 68-4095) и с условием минимального изменения конструкции ее несущих элементов.

Для справедливости оценки применения вновь разработанных стабилизирующих устройств разработка выполнялись на основе динамической расчетной схемы тележки.

Вариант 1

Как и на тележке аналога, крепление к надрессорной балке осуществляется по боковым упорам надрессорной балки. К раме тележки стабилизатор закрепляется на ее поперечных балках и располагается в пространстве между ними.

На рисунке 10 показана схема динамической модели тележки со стабилизатором «вариант 1». Оси 1 по концам опираются на подшипники 2,



корпуса которых закреплены на сварных основаниях в нижней части поперечных балок рамы тележки. Соединение оси и подшипника смоделировано вращательным шарниром, имеющим одну степень свободы. На середине длины каждой оси располагается Г-образный рычаг 3. Рычаги повернуты друг относительно друга на 180 градусов и соединены между собой тягой 4. Соединение рычага и тяги моделировалось одностепенным вращательным шарниром. Г-образные рычаги так же, как и на тележке аналога, соединены с надрессорной балкой вертикальными подвесками 5 в зоне расположения боковых упоров (коробки крепления боковых упоров) с помощью сферических шарниров. Крепление подвески стабилизатора к рычагу и надрессорной балке моделируется вращательным шарниром, обладающим тремя степенями свободы.

Рисунок 10 – Схема динамической модели тележки со стабилизатором «вариант 1»

Оси, подшипники, рычаги, тяга, подвески представлены объемными твердотельными элементами.

Стабилизатор вступает в работу только при поворотных движениях надрессорной балки в вертикальной плоскости, то есть когда кузов совершает боковой наклон (и колебания боковой качки), и не участвует в работе при остальных видах колебаний вагона.

Для компенсации увеличение угловой жесткости подвешивания была уменьшена величина вертикальной и боковой жесткости центрального, и вертикальной жесткости буксового подвешивания модели вагона (Таблица 3).

Вариант 2

Этот вариант конструктивно максимально приближен к модели тележки вагона аналога. Фактически он является доработкой базовой модели. Основное отличие в конструкции заключается в изменении расположения места крепления к надрессорной балки подвесок торсионного стабилизатора. Они смещены к середине балки, тем самым создавая наклон подвесок α относительно вертикали (рисунок 11).

Наклон подвесок позволяет стабилизатору включаться в работу не только при колебаниях боковой качки, но и при колебаниях бокового отбоя кузова (рисунок 11). На остальные виды колебаний он не влияет. При боковом отбое

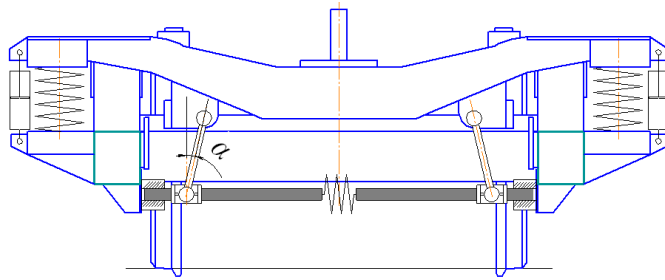


Рисунок 11 – Схема динамической модели тележки со стабилизатором «вариант 2»

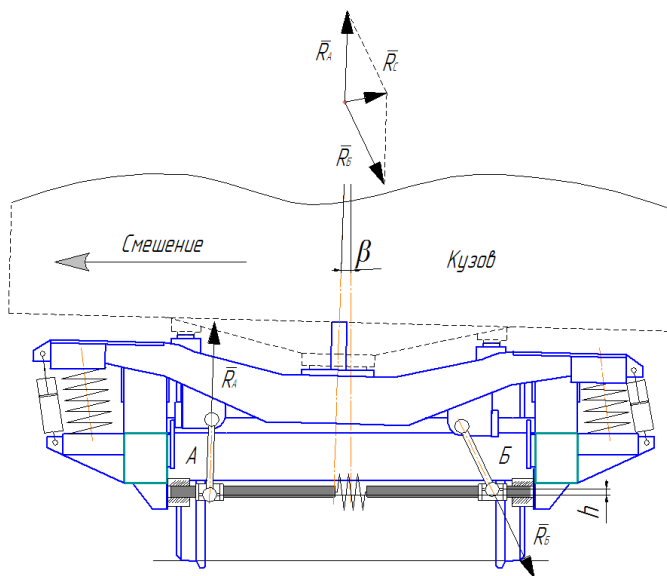


Рисунок 12 – Работа стабилизатора при колебаниях бокового отбоя кузова

кузова (с надрессорной балкой) изменяется наклон подвесок A и B стабилизатора. Увеличивается разность положения рычагов по вертикали h и закручивается торсионный вал. Разнонаправленные силы реакции R_A и R_B передаются от рычагов через подвески на надрессорную балку и наклоняют ее вместе с кузовом (на угол β) в противоположную сторону боковому смещению. При этом суммарный вектор R_C направлен в сторону положения равновесия (к середине) кузова (рисунок 12), что придает дополнительную устойчивость кузова при движении по неровностям пути.

Смещение центра тяжести кузова брутто при боковом отбое (относительно рамы тележки) будет меньше величины зазора между боковыми упорами рамы и надрессорной балки. Но, в случае совмещения бокового отбоя и

бокового наклона, угол β будет компенсироваться наклоном кузова, увеличивая величину h . В итоге, наклон кузова («вариант» 2) будет меньше, чем для вагона аналога при одинаковом боковом воздействии. Таким образом, стабилизирующее устройство «вариант 2» увеличивает боковую и несколько уменьшает угловую жесткость подвешивания вагона, позволяет уменьшить угол наклона кузова.

Для компенсации повышения боковой жесткости подвешивания и уменьшения вертикальных ускорений кузова была уменьшена величина вертикальной и боковой жесткости центрального рессорного подвешивания модели вагона (таблица 3).

Для каждого варианта пропорционально увеличению гибкости пружин, увеличена их высота в ненагруженном для тележки состоянии.

Выбор изменяемых характеристик подвешивания для каждого варианта (таблица 3) выполнялся путем их подбора при моделировании поездных динамических испытаний.

Таблица 3 – Результаты подбора изменяемых параметров подвешивания

Изменяемый параметр подвешивания		Аналог	«Вариант 1»	«Вариант 2»
Центральное подвешивание	Вертикальная жесткость, МН/м	1,46 (100%)	1,22 (84%)	1,26 (86%)
	Горизонтальная (поперечная) жесткость, МН/м	0,79 (100%)	0,66(84%)	0,68 (86%)
Буксовое подвешивание	Вертикальная жесткость, МН/м	7,26 (100%)	6,68 (92%)	7,26 (100%)
Угол наклона подвесок рычагов стабилизатора относительно вертикали, в градусах		0	0	12

По результатам моделирования поездных испытаний выполнен сравнительный анализ предложенных вариантов ходовых частей с результатами модели вагона аналога. Относительно вагона аналога понижение вертикальных ускорения в пятниковой зоне для «вариант 1» и «вариант 2» составило до 12 % и до 10 % соответственно, но горизонтальные ускорения по полу второго этажа для «вариант 1» имеют превышение до 12 % в сравнении с «вариант 2» – уменьшение до 5 %. В отношении рамной силы «вариант 1» имеет значение выше модели аналога на 7 %, а «вариант 2» – ниже на 4 %. По остальным показателям оба варианта имеют схожие значения. Вследствие чего была определена конструкция тележки «вариант 2», как лучшим образом отвечающая поставленной цели исследования. Помимо повышения качества хода вагона данная тележка имеет конструкцию более близкую к аналогу.

Заключение

Основные итоги диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Выполнен обзор конструкций и параметров двухэтажных пассажирских вагонов. Определены цели и задачи исследования.
2. Разработана расчетная математическая модель упругого кузова отечественного двухэтажного пассажирского вагона модели 61-4465 методом конечных элементов двумя способами: пластинами и пластинами, подкрепленными стержнями.
3. Выполнена оценка адекватности расчетной схемы кузова на основе сравнения с данными (прочностных) стендовых натурных испытаний, проведенных для ОАО «Тверской вагоностроительный завод». Максимальное отклонение величины напряжений пластинчатой и пластинчато-стержневой моделей от экспериментальных значений составило 22% и 38% (в меньшую сторону) соответственно. В качестве инструмента исследования принята пластинчатая расчетная схема.

4. При моделировании нагружения кузова массой брутто рассмотрено три способа ее учета. Предложена методика более точного учета массы брутто кузова. Выполнена оценка жесткостных параметров модели кузова (с учетом влияния купейных и служебных перегородок) на соответствие результатам натурных испытаний.

5. Создана гибридная динамическая модель двухэтажного вагона в двух исполнениях – с упругим и абсолютно жестким кузовом брутто.

6. Создана модель пути с учетом микро и макронеровностей в плане и профиле. Макронеровности пути в плане соответствуют испытательному участку эксперимента.

7. В ходе компьютерного моделирования поездных испытаний определена модель с упругим кузовом, наиболее близко соответствующая результатам эксперимента. При проведении исследований она участвовала как модель вагона аналога.

8. Оценив результаты натурных испытаний, определены направления исследования по повышению качества хода отечественного двухэтажного пассажирского вагона.

9. На основе базовой конструкции модели тележки, для достижения поставленной цели, были внесены изменения и применены нововведения, представленные в двух вариантах.

10. По результатам моделирования поездных испытаний выполнен сравнительный анализ предложенных вариантов ходовых частей с результатами модели вагона аналога. Относительно вагона аналога, понижение вертикальных ускорения в пятниковой зоне для «вариант 1» и «вариант 2» составило до 12 % и до 10 % соответственно, но горизонтальные ускорения по полу второго этажа для «вариант 1» имеют превышение до 12 %, для «вариант 2» – уменьшение до 5 %. В отношении рамной силы «вариант 1» имеет значение выше модели аналога на 7 %, а «вариант 2» – ниже на 4 %. По остальным показателям оба варианта имеют схожие значения. Вследствие чего была определена конструкция тележки «вариант 2», как лучшим образом отвечающая поставленной цели исследования.

Важно учесть, что выбор новой конструкции ходовых частей основывался на показателях динамической нагруженности. Вопросы прочности и надежности новой конструкции тележки не ставились.

По итогам проведенных исследований можно дать следующие рекомендации.

1. Для данной несущей конструкции кузова возможно уменьшение массы путем использования обшивы кузова меньшей толщины на уровне второго этажа и выше.

2. Повышение безопасности эксплуатации двухэтажного вагона по средствам создания дополнительных аварийных выходов (эвакуационных люков).

3. На этапе проектирования пассажирских вагонов возможно применение разработанной методики оценки жесткостных параметров кузовов.

4. Для повышения качества хода двухэтажного вагона рассмотреть применение межвагонных связей, работающих при относительном перемещении торцевых стен сцепленных вагонов в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Перспективами дальнейшей разработки темы является оценка разработанных конструкций тележки по показателям прочности и надежности.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

I Публикации в изданиях, входящих в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (из перечня ВАК)

1 Лебедев, В.А. Напряжения в элементах двухэтажного вагона / В.А. Лебедев, Н.А. Заглядова // Мир транспорта. 2012. – №6. – С. 48-51.

2 Лебедев, В.А. Обоснование динамической модели упругого кузова двухэтажного пассажирского вагона / В.А. Лебедев, В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин, С.Д. Коршунов // Вестник Брянского государственного технического университета.– 2015. – №4. – С. 50-53.

3 Лебедев, В.А. Оценка безопасности движения двухэтажного пассажирского вагона методом математического моделирования / В.А. Лебедев, В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин, Д.Ю. Расин // Вестник Брянского государственного технического университета.– 2014. – №6. – С. 62-65.

II В научных журналах, материалах конференций

4 Антипин, Д.Я. Оценка влияния эвакуационных выходов крыши двухэтажного пассажирского вагона на ее напряженно-деформированное состояние / Д.Я. Антипин, В.А. Лебедев // Будущее машиностроения России: сб. тр. Всерос. конф. молодых ученых и специалистов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – С. 230.

5 Лебедев, В.А. Оценка возможности повышения безопасности двухэтажных пассажирских вагонов путем введения в конструкцию дополнительных эвакуационных выходов / В.А. Лебедев // XXII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС 2010) «Будущее машиностроения России»: сб. матер. конф. с элементами науч. школы для молодежи – ИМАШ РАН. – М: Цифровичок, 2010.– С. 199.

6 Лебедев, В.А. Разработка мер по обеспечению безопасности эвакуации пассажиров двухэтажных вагонов / В.А. Лебедев // Труды 53-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и

прикладных наук». Часть III. Аэрофизика и космические исследования. Том 2. – М.: МФТИ, 2010. – С. 30-31.

7 Кобищанов, В.В. Система обеспечения эвакуации пассажиров двухэтажных вагонов отечественного производства. Безопасность движения поездов / В.В. Кобищанов, В.А. Лебедев // Труды Двенадцатой научно-практической конференции. – М.: МИИТ, 2011. – С. I-4-5.

8 Лебедев, В.А. Разработка системы пассивной безопасности двухэтажных пассажирских вагонов отечественного производства / В.А. Лебедев // Безопасность транспортных средств в эксплуатации: сб. материалов 79-й международной научно-технической конференции. – Нижний Новгород, 2012. – С. 69-71.

ЛЕБЕДЕВ ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ КОНСТРУКЦИИ ДВУХЭТАЖНОГО ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог тяга поездов
и электрификация

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать __.__.2017 Заказ № _____ Формат 60×90/16
Усл. печ. л. – 1,5 Тираж 80 экз.

127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, МИИТ