

Транспорт

УДК 629.4

DOI: 10.30987/article_5b28d1998e0e90.15201563

Д.Я. Антипин, С.Г. Шорохов, О.И. Бондаренко

АНАЛИЗ АВАРИЙНОГО СОУДАРЕНИЯ ПАССАЖИРСКОГО ПОЕЗДА С ПРЕПЯТСТВИЕМ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПУТИ

Методами компьютерного моделирования проведена оценка аварийного соударения пассажирского поезда с грузовым вагоном на железнодорожном пути. Определены величины динамических нагрузок, действующих на единицы поезда. По результатам моделирования даны рекомендации

по повышению пассивной безопасности отечественного пассажирского подвижного состава при аварийных соударениях с препятствиями.

Ключевые слова: аварийное соударение, подвижной состав, препятствие, динамическая нагрузка, межвагонное соединение.

D.Ya. Antipin, S.G. Shorokhov, O.I. Bondarenko

ANALYSIS OF PASSENGER TRAIN EMERGENCY CRASH

The purpose of this work consists in the consequences analysis of a passenger train emergency collision with an obstacle as a freight car on a railway track by means of the definition of dynamic efforts affecting a locomotive and passenger cars at a collision. To achieve the purpose specified through the methods of computer simulation with the aid of the formed collision computer models there is carried out a simulation technique of two scenarios of emergency conditions: a collision of a single locomotive with a freight car weighting 80 t with the speed within 10-36 km/h and a collision of a passenger train having a locomotive and four passenger cars with a similar obstacle in the speed spectrum under consideration. As a consequence there are obtained values of maximum compression forces and accelerations affecting train units. The analysis of data obtained has shown that at a single locomotive collision with a freight car at a speed exceeding 15 km/h a carrying structure is af-

ected by forces resulting in its damage and destruction. A passenger train collision with a freight car results in a hauling unit plastic deformation at a collision speed exceeding 15 km/h, and also in a damage of the passenger car following a locomotive at a collision speed exceeding 25 km/h, and a damage of a passenger car the second after the locomotive at a speed exceeding 35 km/h.

At that under conditions of the emergency collision under consideration the third and the fourth passenger cars do not obtain damages resulting in their destruction. Accelerations affecting hauling units (at crashes according to scenarios under consideration) do not exceed a normalized value. The results obtained may be used at the development of a passive safety system.

Key words: emergency collision, rolling-stock, obstacle, dynamic loading, inter-car joining.

Введение

В сфере пассажирских перевозок железнодорожный транспорт играет важную роль, поскольку обеспечивает повышенную мобильность населения страны, что объясняется развитием скоростного и высокоскоростного движения. Наряду с инновационным подвижным составом, задействованным в организации пассажирского сообщения, эксплуатируются локомотивы и вагоны, имеющие различный уровень физического и морального износа. Большинство пассажирских вагонов обладают минимальным уровнем пассивной безопасности, обеспечивающей защиту пассажиров в аварийной ситуации. Кроме того, наличие

человеческого фактора при организации движения поездов и значительный износ объектов инфраструктуры повышают риск возникновения аварийных ситуаций, связанных с аварийными соударениями поездов с различными препятствиями на пути следования.

Железнодорожная статистика свидетельствует о возможности столкновения поездов с мобильными транспортными средствами на железнодорожных переездах (86% случаев всех аварийных соударений), грузовыми вагонами при выполнении маневровых работ (13% случаев) и другими препятствиями на пути движения

поездов (около 1% случаев) [1]. Как правило, столкновения поездов с автомобилями не приводят к значительному повреждению железнодорожного подвижного состава и тяжелому травмированию локомотивной бригады и пассажиров поезда [2]. В то же время соударения с грузовыми вагонами сопровождаются значительными пластическими деформациями подвижного состава, вплоть до разрушения вагонов и локомотивов, а также тяжелым травмированием и гибелью пассажиров и членов обслуживающей бригады поезда. Это связано с воздействием на несущие конструкции единиц поезда значительных динамических усилий, приводящих к потере несущей способности кузовов подвижного состава.

Метод исследования

При разработке систем пассивной безопасности необходимо определить суммарную энергоемкость системы, от величины которой зависят параметры устройств поглощения энергии. Таким образом, этапу проектирования системы безопасности предшествует оценка динамических усилий, воспринимаемых подвижным составом при аварийных соударениях [6; 7].

В связи со значительными сложностями при проведении натурных испытаний подвижного состава на соударение с препятствиями в настоящее время основным методом исследования динамики транспортных средств при соударениях является компьютерное моделирование. Развитие компьютерных технологий, по-

Разработка компьютерных моделей соударения

Большое количество аварийных соударений поездов с препятствиями вызвало необходимость нормирования параметров пассивной безопасности всего железнодорожного подвижного состава, участвующего в пассажирских перевозках. Это привело к принятию в 2013 г. межгосударственного стандарта ГОСТ 32410-2013 [8], согласно которому при проектировании систем пассивной безопасности рассматриваются два наиболее вероятных сценария продольных аварийных соударений

Снизить уровни действующих усилий при соударении и минимизировать последствия аварийных ситуаций возможно путем оснащения железнодорожного подвижного состава системами пассивной безопасности [3-5]. Основу таких систем составляют устройства поглощения энергии, представляющие собой разрушаемые при соударении конструкции, которые поглощают энергию соударения за счет собственного разрушения. При этом кинетическая энергия, действующая на поезд, уменьшается до безопасного уровня. Для повышения эффективности работы данных систем при различных сценариях развития аварийной ситуации системы пассивной безопасности выполняются многоуровневыми.

явление вычислительных станций и сложнейшего программного обеспечения позволяют получать адекватные результаты моделирования, качественно и количественно близкие к результатам натурных испытаний (в рамках допускаемых погрешностей). Проведение большого количества вычислительных экспериментов позволяет спрогнозировать поведение любого объекта в заданных условиях с различными вариациями граничных условий. Результаты моделирования учитываются при проектировании подвижного состава и позволяют сократить цикл изготовления изделия за счет отсутствия этапов доработки конструкции по результатам промежуточных испытаний.

поездов с препятствиями (для подвижного состава с конструкционной скоростью не более 160 км/ч):

- соударение поезда с мобильным транспортным средством массой 10 т на переезде со скоростью 72 км/ч;

- соударение поезда с железнодорожным подвижным составом массой 80 т на путях со скоростью 36 км/ч.

В связи с более тяжелыми последствиями, наступающими при соударении поезда с железнодорожным подвижным со-

ставом, в работе в качестве объекта исследования рассматривается аварийное соударение пассажирского поезда с грузовым вагоном на путях. Условия анализируемого соударения соответствуют требованиям стандарта. Исследование проводилось методами твердотельного компьютерного имитационного моделирования. Инструментом исследования являлся программный комплекс моделирования кинематики и динамики систем тел «Универсальный механизм».

Системы эксплуатации пассажирского железнодорожного подвижного состава

предполагают следующие схемы пассажирских поездов:

- одиночный локомотив (при следовании из депо к сцепу из пассажирских вагонов);

- локомотив в сцепе с пассажирскими вагонами (при движении по станциям и перегонам).

В связи с этим в работе рассматривались два сценария аварийного соударения:

1) соударение одиночного локомотива с грузовым вагоном на путях (рис. 1);

2) соударение сцепы из локомотива и четырех пассажирских вагонов с грузовым вагоном на путях (рис. 2).

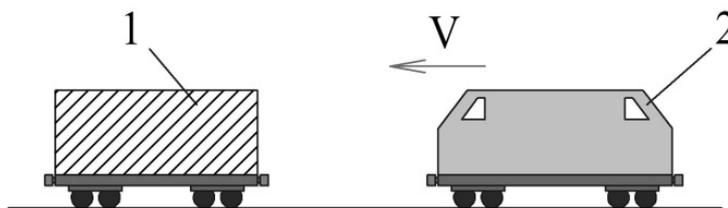


Рис. 1. Схема аварийного соударения по сценарию 1:
1 - препятствие; 2 - локомотив

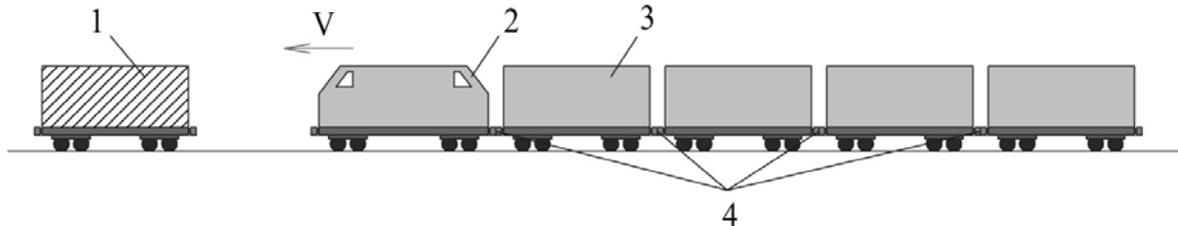


Рис. 2. Схема аварийного соударения по сценарию 2:
1 - препятствие; 2 - локомотив; 3 - пассажирский вагон; 4 - межвагонные соединения

Для моделирования аварийного соударения по сценарию 1 разработаны твердотельные компьютерные модели пассажирского поезда и препятствия в виде грузового вагона, которые представляются совокупностью абсолютно твердых тел, взаимодействующих между собой с помощью силовых и контактных элементов, а также вращательных и обобщенных шарниров [9].

Компьютерная модель локомотива представляет собой систему абсолютно твердых тел, моделирующих кузов, ходовые части, автосцепное устройство. В качестве локомотива рассматривался магистральный пассажирский двухсекционный

электровоз постоянного тока ЧС7. Препятствие моделируется неподвижным абсолютно твердым телом массой 80 т, обладающим одной поступательной степенью свободы в направлении оси движения поезда. При моделировании рассматриваются соударения поезда с препятствием на прямом горизонтальном участке пути в диапазоне скоростей от 5 до 36 км/ч с шагом 5 км/ч.

В результате моделирования получен график распределения сжимающих усилий, воспринимаемых локомотивом (рис. 3). На графике сплошная линия соответствует предельному значению усилия, допускаемому «Нормами...» [10]. Линия с

прямоугольными маркерами соответствует усилиям, действующим на локомотив при соударении с препятствием. Из графика видно, что при столкновении локомотива с препятствием массой 80 т со скоростями свыше 15 км/ч в несущей конструкции локомотива могут возникать пластические

деформации, что объясняется превышением действующего значения нагрузки над предельным нормированным значением 2,5 МН, регламентированным «Нормами...» [10]. Это свидетельствует о высокой вероятности разрушения локомотива.

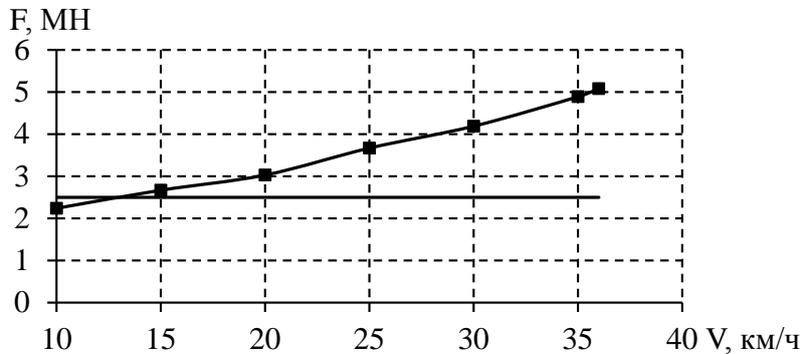


Рис. 3. Распределение максимальных сжимающих усилий, воздействующих на локомотив при его столкновении с грузовым вагоном

Для моделирования соударения поезда с препятствием по сценарию 2 сформирована компьютерная модель пассажирского поезда, состоящего из локомотива и четырех пассажирских вагонов, которая представляет собой совокупность систем связанных твердых тел, описывающих его пространственные колебания. В качестве локомотива рассматривался магистральный пассажирский двухсекционный электровоз постоянного тока ЧС7. В качестве пассажирских вагонов рассмотрены конструкции отечественных вагонов модели 61-4440.

Для оценки динамических усилий, возникающих в межвагонных соединениях при соударении, в компьютерных моделях локомотива и пассажирских вагонов детально смоделировано автосцепное устройство с учетом взаимодействия двух сцепных устройств единиц поезда в сцепленном состоянии при движении поезда. Взаимодействие двух автосцепных устройств в сцепленном состоянии описывается введением между твердыми телами, моделирующими корпуса автосцепок, контактных силовых элементов. Расположение контактных силовых элементов соответствует взаимодействию корпусов автосцепок в сцепленном состоянии по контуру зацепления по ГОСТ 21447-75 с учетом всех допускаемых зазоров для новых корпусов. Упруго-диссипативные характери-

стики межвагонных связей определяются типом применяемых поглощающих аппаратов автосцепных устройств и упругими свойствами кузовов вагонов и локомотива.

Моделирование движения пассажирского поезда осуществлялось путем приложения тяговых усилий в виде крутящих моментов к осям колесных пар локомотива с учетом сил сопротивления движению [11-13].

Верификация разработанной компьютерной модели пассажирского поезда выполнена путем сопоставления данных натурных испытаний на соударение с результатами расчетов.

При испытании проводилось соударение вагона-бойка с исследуемым пассажирским вагоном, стоящим с подпором массой 300 т. Масса вагона-бойка соответствует массе исследуемого вагона. Скорость соударения принята равной 10 км/ч. Для сопоставления проведено моделирование указанных условий испытаний. Результаты численного моделирования представлены в виде графика зависимости усилий на хребтовой балке вагона в зоне установки задних упоров от времени соударения (рис. 4). На графике сплошной линией показаны результаты, полученные при натурных испытаниях, пунктирной линией – результаты моделирования с использованием разработанной компьютерной моде-

ли вагона. Как видно из рисунка, усилия, полученные с использованием компьютерной модели вагона, отличаются от экспериментальных не более чем на 17%, что

свидетельствует об адекватности модели и возможности ее использования для дальнейших расчетов.

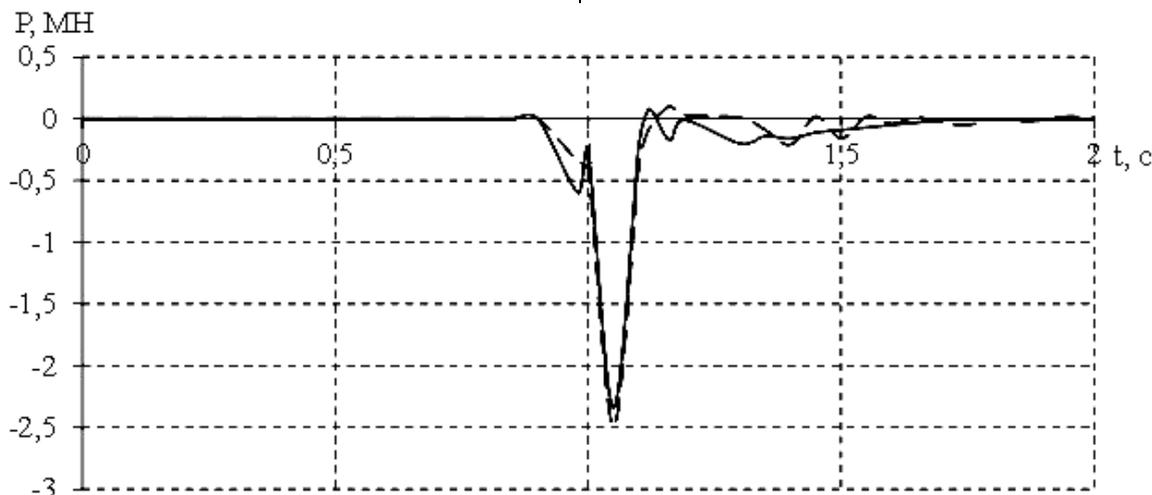


Рис. 4. Зависимость продольного усилия в зоне установки задних упоров автосцепки от времени соударения

Моделирование аварийных ситуаций

При моделировании соударения модель грузового вагона неподвижна и установлена на прямом горизонтальном участке пути, моделирующем участок железнодорожного пути. Модель пассажирского поезда является подвижной и соударяется с моделью вагона со скоростями в интервале от 5 до 36 км/ч с шагом 5 км/ч.

При проведении комплекса компьютерных экспериментов получены значения максимальных сжимающих усилий, воздействующих на локомотив и пассажирские вагоны (таблица). Также при моделировании получено распределение ускорений по длине поезда, представленное в ви-

де графика на рис. 5. На рисунке сплошная линия соответствует предельному значению ускорения, равному $5g$ [8]. Линия с прямоугольными маркерами соответствует ускорениям, действующим на локомотив, линия с треугольными маркерами – ускорениям в соединении локомотива и первого пассажирского вагона, линия с ромбическими маркерами - ускорениям в соединении первого и второго пассажирских вагонов, линия с круглыми маркерами - ускорениям в соединении второго и третьего пассажирских вагонов, линия с крестиками - ускорениям в соединении третьего и четвертого пассажирских вагонов.

Таблица

Значения максимальных сжимающих усилий (МН), воздействующих на пассажирский поезд при соударении с грузовым вагоном

Зона определения сжимающего усилия	Скорость соударения, км/ч							
	5	10	15	20	25	30	35	36
Локомотив	1,66	2,24	2,67	3,03	3,67	4,19	4,89	5,08
Соединение локомотива и первого вагона	0,27	0,91	1,64	2,07	2,49	2,69	2,88	3,01
Соединение первого и второго вагонов	0,15	0,54	1,02	1,43	1,84	2,11	2,54	2,61
Соединение второго и третьего вагонов	0,08	0,35	0,58	0,96	1,36	1,76	2,07	2,26
Соединение третьего и четвертого вагонов	0,03	0,17	0,39	0,65	0,96	1,42	1,69	1,73

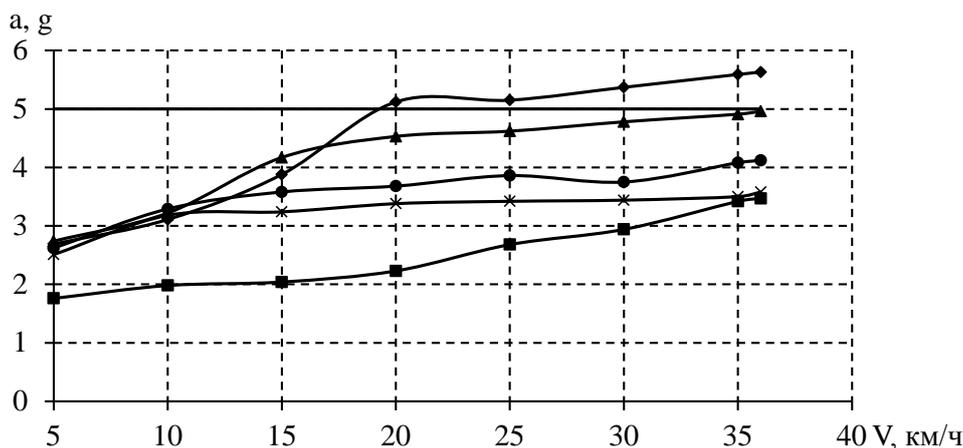


Рис. 5. Распределение ускорений по длине поезда при аварийном соударении пассажирского поезда с грузовым вагоном

Анализ результатов показывает, что при соударении поезда с грузовым вагоном в исследуемом интервале скоростей в элементах несущей конструкции локомотива могут возникать пластические деформации при скоростях соударения свыше 15 км/ч. Разрушение первого пассажирского вагона может наблюдаться при скорости соударения свыше 25 км/ч, а второго вагона - при скорости свыше 35 км/ч. На третий и четвертый пассажирские вагоны воздействуют усилия, не превышающие нормированное значение, что свидетельствует о появлении упругих деформаций несущих конструкций кузовов.

Заключение

Высокий уровень продольных ускорений, действующих на единицы поезда при соударениях с препятствиями с повышенными скоростями, а также значительные сжимающие силы, возникающие в межвагонных соединениях в момент соударения, объясняются низкой энергоемкостью поглощающих аппаратов штатных сцепных устройств, которыми оборудуется железнодорожный подвижной состав отечественного производства.

Полученные в ходе моделирования результаты свидетельствуют о высокой вероятности появления пластических де-

формаций несущих конструкций отечественных локомотивов и тяжелого травмирования локомотивной бригады. Это вызывает необходимость снижения динамической нагруженности поезда при соударениях за счет повышения пассивной безопасности локомотива как наиболее нагруженной единицы пассажирского поезда при аварийных продольных соударениях с препятствиями. Наиболее эффективным способом минимизации последствий соударений является оснащение подвижного состава многоуровневыми системами пассивной безопасности.

формаций несущих конструкций отечественных локомотивов и тяжелого травмирования локомотивной бригады. Это вызывает необходимость снижения динамической нагруженности поезда при соударениях за счет повышения пассивной безопасности локомотива как наиболее нагруженной единицы пассажирского поезда при аварийных продольных соударениях с препятствиями. Наиболее эффективным способом минимизации последствий соударений является оснащение подвижного состава многоуровневыми системами пассивной безопасности.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-2881.2018.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красюков, Н.Ф. Как повысить пассивную безопасность подвижного состава / Н.Ф. Красюков // Локомотив. - 2014. - № 8. - С. 9-10.
 2. Антипин, Д.Я. Аспекты защиты пассажиров отечественных вагонов при продольных аварийных соударениях / Д.Я. Антипин, С.Г. Шорохов // Материалы 3-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности - 2014». - М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. - С. 132-134.
 3. Шорохов, С.Г. Концепция пассивной защиты отечественного пассажирского железнодорожного подвижного состава при аварийных соударениях / С.Г. Шорохов, Д.Я. Антипин // Материалы VI-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности - 2017». - М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. - С. 311-317.
 4. Шорохов, С.Г. Анализ требований по пассивной безопасности железнодорожного подвижного состава для пассажирских перевозок / С.Г. Шорохов, Д.А. Мамаева // Системы обеспечения техносферной безопасности: материалы IV всерос. конф. и шк. для молод. ученых (с междунар. участием). - Таганрог: ЮФУ, 2017. - С. 247-249.
 5. Кобищанов, В.В. Разработка конструктивных мер повышения пассивной безопасности отечественных пассажирских вагонов / В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин, Д.Ю. Расин, С.Г. Шорохов // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2013. - № 4. - С. 27-33.
 6. Шорохов, С.Г. Применение компьютерного моделирования для анализа аварийных соударений железнодорожного подвижного состава / С.Г. Шорохов // Моделирование природных и техногенных чрезвычайных ситуаций и рисков их возникновения: синтез достижений технических и социальных наук: сб. материалов науч.-практ. конф. - Архангельск: КИРА, 2016. - С. 118-122.
 7. Шорохов, С.Г. Применение компьютерного моделирования для оценки динамической нагруженности пассажирских вагонов при соударениях / С.Г. Шорохов, Д.Я. Антипин // Компьютерное моделирование в железнодорожном транспорте: динамика, прочность, износ: III науч.-техн. семинар. - Брянск: БГТУ, 2016. - С. 93-96.
 8. ГОСТ 32410-2013. Крэш-системы аварийные железнодорожного подвижного состава для пассажирских перевозок. Технические требования и методы контроля. - М.: Стандартиформ, 2013. - 16 с.
 9. Шорохов, С.Г. Обоснование компьютерной модели соударения пассажирского поезда с препятствием / С.Г. Шорохов, Н.А. Реда // Приоритетные направления развития науки, техники и технологий: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. - Кемерово: ЗапСибНЦ, 2016. - Т. 2. - С. 321-324.
 10. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). - М.: ГосНИИВ - ВНИИЖТ, 1996. - 319 с.
 11. Кобищанов, В.В. Оценка динамической нагруженности отечественных пассажирских вагонов при аварийных соударениях поездов с препятствиями / В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин, С.Г. Шорохов // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: материалы III всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием: в 3 ч. - Омск: ОмГУПС, 2015. - Ч. 2. - С. 50-56.
 12. Шорохов, С.Г. Анализ динамических усилий в межвагонных соединениях при аварийном соударении пассажирского поезда с препятствием / С.Г. Шорохов, Д.Я. Антипин // Инновационный транспорт - 2016: специализация железных дорог: материалы междунар. науч.-практ. конф. - Екатеринбург: УрГУПС, 2017. - Вып. 8 (227). - С. 702-708.
 13. Шорохов, С.Г. Оценка динамической нагруженности пассажирского локомотива при аварийном соударении с препятствием / С.Г. Шорохов, Д.Я. Антипин // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: материалы IV всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. - Омск: ОмГУПС, 2017. - С. 170-177.
-
1. Krasnyukov, N.F. How to increase passive safety of rolling-stock / N.F. Krasnyukov // *Locomotive*. - 2014. - No.8. - pp. 9-10.
 2. Antipin, D.Ya. Aspects of passenger protection in domestic passenger cars at longitudinal emergency collisions / D.Ya. Antipin, S.G. Shorokhov // *Proceedings of the 3-d Inter. Scientific Practical Conf. of Young Scientists and Specialists "Problems of Technosphere Safety - 2014"*. - M.: Academy of GPS ME of Russia, 2014. - pp. 132-134.
 3. Shorokhov, S.G. Passive protection concept for domestic passenger rolling-stock at emergency collisions / S.G. Shorokhov, D.Ya. Antipin // *Proceedings of the VI-th Inter. Scientific Practical Conf. of Young Scientists and Specialists "Problems of Technosphere Safety - 2017"*. - M.: Academy of GPS ME of Russia, 2017. - pp. 311-317.
 4. Shorokhov, S.G. Analysis of requirements to passive safety of passenger rolling-stock / S.G. Shorokhov, D.A. Mamaeva // *Systems for Technosphere Safety Assurance: Proceedings of the IV-th All-Russian Conf. for Young Scientists (with inter. Participation)*. - Taganrog: SFU, 2017. - pp. 247-249.
 5. Kobishchanov, V.V. Design measure development to improve passive safety in domestic passenger cars / V.V. Kobishchanov, D.Ya. Antipin, D.Yu.

- Rasin, S.G. Shorokhov // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. – 2013. – No.4. – pp. 27-33.
6. Shorokhov, S.G. Computer simulation use for analysis of rolling-stock emergency collisions / S.G. Shorokhov // *Simulation of Natural and Anthropogenic Emergency Situations and Risks of Their Beginnings: Achievement Synthesis in Engineering and Social Sciences: Proceedings of Scientific Pract. Conf.* – Arkhangelsk: KIRA, 2016. – pp. 118-122,
 7. Shorokhov, S.G. Computer simulation use for assessment of passenger car dynamic loading at collisions / S.G. Shorokhov, D.Ya. Antipin // *Computer Simulation in Railway Transport: Dynamics, Strength, Wear: the III-d Scientific Tech. Seminar*. – Bryansk: BSTU, 2016. – pp. 93-96.
 8. RSS 32410-2013. *Emergency Crash-Systems of Passenger Rolling-Stock. Technical Requirements and Control Methods*. – М.: Standardinform. 2013. – pp. 16.
 9. Shorokhov, S.G. Computer model substantiation of passenger train collide with obstacle / S.G. Shorokhov, N.A. Redya // *Development Priority Directions of Science, Engineering and Techniques: Transactions of the Inter. Scientific Pract. Conf.* – Kemerovo: West-SiberianSC, 2016, - Vol.2. – pp. 321-324.
 10. *Standards for Computation and Design of Railway Cars (non-self-propelled) with 1520mm Gauge of MC*. – М.: StateRIIV-RRIC, 1996. – pp. 319.
 11. Kobishchanov, V.V. Dynamic loading assessment of domestic passenger cars at train emergency crash / V.V. Kobishchanov, D.Ya. Antipin, S.G. Shorokhov // *Technological Support of Repair and Dynamic Properties Increase in Rolling-Stock: Transactions of the III-d All-Russian Scientific Practical Conf. with Inter. Participation: in 3 Parts – Omsk:OmskSUC, 2015. – Part 2. – pp. 50-56.*
 12. Shorokhov, S.G. Analysis of dynamic forces in inter-car connections at emergency crash / S.G. Shorokhov, D.Ya. Antipin // *Innovation Transport – 2016: Railway Specialization: Transactions of the Inter. Scientific Practical Conf.* – Ekaterinburg: UralsSUC, 2017. – Issue 8(227). – pp. 702-708.
 13. Shorokhov, S.G. Assessment of passenger locomotive dynamic loading at emergency crash / S.G. Shorokhov, D.Ya. Antipin // *Technological Support of Repair and Increase of Dynamic Properties in Rolling-Stock: Transactions of the IV-th All-Russian Scientific Practical Conf. with Inter. Participation. – Omsk: OmskSUC, 2017, - pp. 170-177.*

Статья поступила в редколлегию 19.03.18.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета
Кобищанов В.В.

Сведения об авторах:

Антипин Дмитрий Яковлевич, к.т.н., зав. кафедрой «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета, e-mail: adya2435@gmail.com.

Antipin Dmitry Yakovlevich, Can. Eng., Head of the Dep. “Rolling-Stock”, Bryansk State Technical University, e-mail: adya2435@gmail.com.

Shorokhov Sergey Gennadievich, Can. Eng., Assistant Prof. of Bryansk State Technical University, e-mail: shorsg@yandex.ru.

Шорохов Сергей Геннадьевич, к.т.н., доцент Брянского государственного технического университета, e-mail: shorsg@yandex.ru.

Бондаренко Ольга Игоревна, аспирант Брянского государственного технического университета, e-mail: adya2435@gmail.com.

Bondarenko Olga Igorevna, Post graduate student of Bryansk State Technical University, e-mail: adya2435@gmail.com.