



Разработка устройств пассивной безопасности пассажирских вагонов



Владимир КОБИЩАНОВ
Vladimir V. KOBISCHANOV

Дмитрий АНТИПИН
Dmitry Ya. ANTIPIIN



Сергей ШОРОХОВ
Sergey G. SHOROKHOV

Кобищанов Владимир Владимирович – доктор технических наук, профессор Брянского государственного технического университета (БГТУ), Брянск, Россия.
Антипин Дмитрий Яковлевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Подвижной состав железных дорог» БГТУ, Брянск, Россия.
Шорохов Сергей Геннадьевич – инженер БГТУ, Брянск, Россия.

Development of Passive Safety Devices of Rail Passenger Coaches

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 224)

Потребность в разработке систем пассивной безопасности вагонов реализуется с целью уменьшить тяжесть последствий аварийных столкновений поездов. Пассажиры вагонов, имеющие устройства поглощения кинетической энергии продольного соударения, приобретают способность к пластической деформации конструкции и тем самым снижают вероятность потерь при критических нагрузках. Авторы статьи предлагают конструктивные решения и расчет энергоемкости поглощающих аппаратов, оценивают их эффективность на основе результатов математического моделирования.

Ключевые слова: железная дорога, пассажирский вагон, устройства пассивной безопасности, кинетическая энергия соударений, пластическая деформация, автосцепка, поглощающий аппарат, конструктивные решения.

Активные системы безопасности, применяемые на железнодорожном транспорте, не исключают возможность аварий, сопровождающихся травмированием и гибелью людей [1]. В связи с этим при проектировании современного подвижного состава возникает потребность в разработке систем пассивной безопасности, способных снижать тяжесть последствий аварийных столкновений [2, 3].

В существующих нормативных документах [4] на проектирование отечественных пассажирских вагонов отсутствуют указания по поводу систем пассивной безопасности. Однако по инициативе ОАО «Российские железные дороги» был сделан шаг к тому, чтобы изменить ситуацию. Появился государственный стандарт, регламентирующий пассивную безопасность пассажирского подвижного состава, – ГОСТ 32410-2013 «Крэш-системы аварийные железнодорожного подвижного состава для пассажирских перевозок. Технические требования и методы контроля» [5]. В соответствии с ним все пассажирские вагоны должны быть оборудованы устройствами поглощения энергии

Расчет энергоемкости УПЭ пассажирского вагона

Модель вагона	Масса вагона $M_в$, кг	Масса поезда M_1 , кг	Сценарий 1			Сценарий 2		
			Масса препятствия M_2 , кг	Скорость столкновения V_1 , м/с	Потребная энергоемкость U , кДж	Масса препятствия M_2 , кг	Скорость столкновения V_1 , м/с	Потребная энергоемкость U , кДж
61-4440	62795	327180	10000	20	162	80000	10	268
61-4445	62245	324980			162			268
61-4447	60925	319700			162			267
61-4458	61735	322940			162			268

гии (УПЭ), принцип действия которых основан на нейтрализации кинетической энергии соударения посредством пластической деформации вагонной конструкции [6, 7].

Уменьшение негативных последствий продольного соударения вагонов и обеспечение эффективного поглощения кинетической энергии удара возможны лишь при реализации свободного перемещения кузовов навстречу друг другу, чему препятствует конструкция автосцепного устройства. Ограниченный ход поглощающего аппарата накладывает ограничение на сближение вагонов. При действии сверхнормативных нагрузок голова автосцепки жестко передает усилия на раму, что не позволяет включать механизм поглощения энергии удара системой пассивной безопасности.

Для исключения подобного эффекта разработана оригинальная конструктивная схема установки автосцепного оборудования, особенностью которой стала возможность перемещения автосцепки внутрь рамы вагона, что обеспечивает восприятие продольных усилий соударения элементами системы пассивной безопасности, расположенными на кузове.

Автосцепное устройство выполняется в едином блоке, устанавливаемом в раму вагона. Крепление передних и задних упоров к продольным балкам блока осуществляется сваркой. Блок автосцепки крепится к раме посредством болтового соединения с использованием призонных болтов. Смещение блока автосцепного оборудования достигается за счет среза болтового соединения при воздействии нагрузок, превышающих нормативные значения.

Применение такого решения требует внесения изменений в конструкцию консоли рамы вагона. Для беспрепятственного перемещения блока внутрь рамы хребтовая балка в концевой части делается уширенной по раз-

меру ударной розетки. В связи с ослаблением зоны передачи продольных усилий концевая балка рамы получает подкрепление.

Предварительная оценка параметров УПЭ проводится в соответствии со сценарием столкновения, характеризующим условия, при которых происходит контакт поезда с препятствием. Выделяют два сценария: 1) аварийное столкновение на железнодорожном переезде с автомобилем; 2) аварийное столкновение с грузовым вагоном [5].

Минимально необходимая суммарная энергоемкость всех размещенных на подвижном составе УПЭ определяется по формуле

$$U = \frac{M_1 M_2 V_1^2}{(M_1 + M_2) 2}, \quad (1)$$

где M_1 – масса поезда; M_2 – масса препятствия; V_1 – скорость при столкновении.

В качестве эталонного поезда, участвующего в сценариях столкновений, принимается состав из локомотива и четырех пассажирских вагонов одной конструкции. Имеется в виду четырехосный локомотив с нагрузкой на ось 19 т, снабженный жестким кузовом с автосцепными устройствами и поглощающими аппаратами, оснащенный УПЭ в каждой концевой части. Общая энергоемкость всех размещенных на пассажирском вагоне УПЭ (в сумме с энергоемкостью поглощающих аппаратов двух сцепных устройств) должна быть не менее 1/12 суммарной энергоемкости, вычисленной по формуле (1). Для проектирования выбирают наибольшие из полученных значений энергоемкости.

На основе технических характеристик различных моделей пассажирских вагонов производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод» проведен расчет потребной суммарной энергоемкости УПЭ системы пассивной безопасности (таблица 1). Анализ результатов показывает, что минимальная суммарная



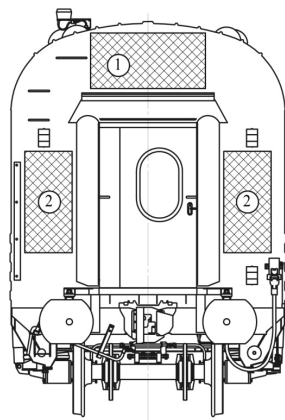


Рис. 1. Исследуемые зоны расположения УПЭ.

энергоемкость всех УПЭ, расположенных на пассажирском вагоне нового модельного ряда, должна быть не менее 268 кДж.

В соответствии с концепцией пассивной безопасности подвижного состава предполагается следующая последовательность срабатывания УПЭ: поглощающий аппарат автосцепного устройства; разрушаемые элементы сцепного устройства; устройства поглощения энергии. На современных пассажирских вагонах в конструкции автосцепки применяются резинометаллические поглощающие аппараты Р-5П, имеющие ход 80 мм и обладающие энергоемкостью 40 кДж. Их суммарная энергоемкость не менее 188 кДж.

Геометрические размеры УПЭ системы пассивной безопасности пассажирских вагонов определяются исходя из возможности их размещения на кузовах с целью обеспечения безотказной работы в аварийных ситуациях.

Наиболее эффективное гашение кинетической энергии соударения будет наблюдаться при расположении УПЭ по контуру торцевой стены, что объясняется конструкцией кузова вагона в виде замкнутой подкрепленной оболочки с вырезами для оконных и дверных проемов. Такая конструкция позволяет включить в работу все его элементы при восприятии как эксплуатационных, так и аварийных продольных нагрузок.

Для определения рациональных геометрических размеров УПЭ проведен анализ сближения вагонов при столкновении поезда с препятствием. На повышенных скоростях происходит полное сжатие поглощающего аппарата, что приводит к передаче продольных усилий на раму вагона через удар головы автосцепки в лобовую балку рамы. При дальнейшем сближении разрушается лобовая балка,

а соприкосновение тарелей буферов и антительскопических стоек вагонов резко увеличивает жесткость кузовов. То есть наиболее эффективно УПЭ будут поглощать кинетическую энергию удара до момента соприкосновения буферных устройств и антительскопических стоек. В этом случае ход устройств, расположенных на торцевых стенах вагонов, не превышает 65 мм.

Режимы эксплуатации пассажирских вагонов предполагают движение как по прямым участкам пути, так и прохождение кривых различного радиуса. На кривом участке происходит поворот кузовов относительно оси, проходящей через центр кривой, что приводит к уменьшению расстояния между торцевыми стенами вагонов внутри кривой и увеличению его снаружи кривой. В таких режимах движения УПЭ соседних вагонов не должны соприкоснуться друг с другом. Техническими характеристиками установлен минимальный радиус кривой, проходимый в сцепе с однотипным вагоном — 120 м.

Для определения рациональных мест установки УПЭ на торцевых стенах рассматривалось движение сцепы из двух однотипных вагонов по минимально допустимой кривой. При этом оценивалось два варианта расположения УПЭ: в зоне 1 и зоне 2 (рис. 1).

Анализ результатов расчетов прохождения сцепом вагонов кривой показал, что при расположении УПЭ в зоне 2 максимальный ход элементов до соприкосновения антительскопических стоек не превышает 40 мм, что объясняется необходимостью добиться максимальной площади контакта УПЭ соседних вагонов. Подобный ход не обеспечит эффективную работу элементов, что дает основание сделать вывод о нецелесообразности их пребывания в таких зонах. Кроме того, усложняются условия обслуживания переходных площадок и контроль плотности прилегания суфле соседних вагонов друг к другу.

Расположение УПЭ в зоне 1 позволяет получить ход элементов более 200 мм и обеспечить поглощение кинетической энергии удара более 1 МДж. Однако применение энергопоглощающих элементов на торцевых стенах вагонов требует усиления их несущей конструкции, чтобы получить ожидаемый уровень жесткости основания. В связи с этим для поглощения энергии удара предлагается включить УПЭ в конструкцию рамы вагона и расположить его за блоком автосцепного устройства. Проведенные расчеты показали, что по-

сле полного сжатия поглощающего аппарата и начала смещения блока автосцепки до выбора зазоров в буферных устройствах имеется возможность обеспечения хода УПЭ 65 мм. Это означает, что при проектировании энергопоглощающего элемента следует предполагать энергоемкость не менее 94 кДж.

Проектирование конструкции УПЭ и выбор его рациональных параметров учитывают ограничения по габаритным размерам и массе элементов, технологичности и стоимости их изготовления. Рассмотрены два варианта конструктивного исполнения УПЭ:

– 1-й вариант – трубчатая конструкция, состоящая из пакета тонкостенных труб, помещенного в закрытый короб;

– 2-й вариант – сотовая конструкция, составленная из прямоугольных ячеек, сформированных из накрест установленных тонкостенных листов; ячейки помещены в закрытый короб.

Эффективность энергопоглощения предложенных вариантов оценена средствами математического моделирования на основе сформированных пластинчатых конечноэлементных моделей. Моделирование деформирования УПЭ в результате ударного воздействия проведено с учетом геометрической и физической нелинейностей материала устройств. Благодаря моделированию получены графики зависимости энергоемкости УПЭ от их деформаций (рис. 2).

Анализ полученных данных позволил сделать **следующие выводы**:

– наиболее рациональной является трубчатая конструкция УПЭ;

– при пластическом деформировании трубчатого УПЭ может быть поглощена кинетическая энергия порядка 175 кДж при деформации элемента 65 мм, что соответствует требованиям, предъявляемым к устройствам безопасности современных пассажирских вагонов.

Таким образом, при оборудовании пассажирского вагона предложенными УПЭ сум-

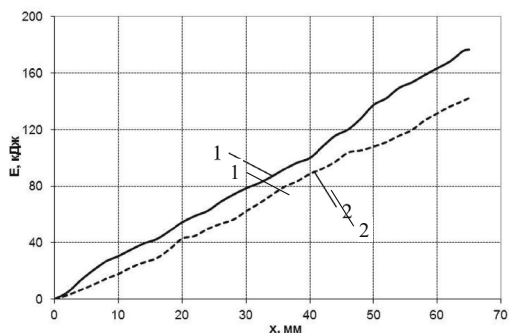


Рис. 2. График зависимости энергоемкости элементов от их деформаций: 1 – трубчатой конструкции; 2 – сотовой конструкции.

марная энергоемкость системы пассивной безопасности составит 430 кДж, что превышает требуемую величину на 60%.

Заявленные конструктивные решения по повышению пассивной безопасности отечественных пассажирских вагонов в аварийных ситуациях помогут снизить риск травмирования пассажиров и членов поездных бригад, а также уменьшить повреждения подвижного состава при столкновениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Crash Energy Management// Transportation Research Board of The National Academies. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/trnews/trnews286CrashTest.pdf>. Доступ 30.04.2015.
2. Toprak, Tuncer; Baykasoglu, Cengiz. Railroad Passenger Vehicle Collision Analysis// Railway-Research. <http://www.railway-research.org/IMG/pdf/tr.pdf>. Доступ 30.04.2015.
3. Расин Д. Ю. Профилактика аварийных соударений // Мир транспорта. – 2008. – № 3. – С. 64–67.
4. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
5. ГОСТ 32410-2013. Крэш-системы аварийные железнодорожного подвижного состава для пассажирских перевозок. Технические требования и методы контроля.
6. Ушкалов В.Ф., Теличко И.Б., Соболевская М.Б., Сирота С.А. Разработка жертвенных элементов системы пассивной безопасности электровоза ЭП20 // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Дала. – 2011. – № 4 (158). – Частина 1. – С. 59–64.
7. Zobory, I. Longitudinal dynamics of train collision – crash analysis / H. G. Reimerdes, E. Bokefi, J. Marsolek, I. Nometh// Proceedings of 7th Mini Conf. on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies. – Budapest, 2000. – P. 89–110. ●

Координаты авторов: Кобищанов В. В. – wagon@tu-bryansk.ru, Антипин Д. Я. – adya24@rambler.ru, Шорохов С. Г. – shorsg@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 10.10.2014, актуализирована 30.04.2015, принята к публикации 12.01.2015/05.05.2015.

Статья подготовлена на основе материалов, представленных авторами на Международной научно-практической конференции «Конструкция, динамика и прочность подвижного состава», посвященной 75-летию со дня рождения В. Д. Хусидова (МИИТ, 20–21 марта 2014 года).

