

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛОКОМОТИВА ПРИ ОТРАБОТКЕ ТЕСТОВЫХ СЦЕНАРИЕВ СТОЛКНОВЕНИЯ

Для оценки эффективности работы системы пассивной безопасности локомотива проведено компьютерное моделирование процесса аварийного соударения эталонного поезда с грузовым вагоном согласно тестовому сценарию столкновения.

Для оцінки ефективності роботи системи пасивної безпеки локомотива проведено комп'ютерне моделювання процесу аварійного співудару еталонного поїзда з вантажним вагоном згідно тестового сценарію зіткнення.

According to the test scenario, the computer modeling of an incident collision process of a standard train with a loaded freight car is done for estimation of the locomotive passive safety system effectiveness.

Анализ аварийных ситуаций на железных дорогах стран СНГ показал, что в современных условиях весьма остро стоит проблема выполнения железнодорожных перевозок с соблюдением требований по обеспечению безопасности движения. Причиной многих нарушений безопасности движения в локомотивном хозяйстве являются такие особые случаи, как проезды запрещающих сигналов, невыполнение регламента переговоров, отвлечение от наблюдения за положением стрелочных переводов. Нарушение требований, как правило, приводит к аварийным ситуациям, к которым относятся столкновение поездов, соударение локомотивов между собой и с вагонами, наезд пассажирского поезда на путевые тупиковые упоры.

Значительное количество дорожно-транспортных происшествий происходит при столкновении поезда с мобильным транспортным средством на железнодорожных переездах. Так, в 2008 году на железных дорогах Российской Федерации произошло 226 аварий на переездах, в том числе допущено 69 случаев столкновения автотранспортных средств с пассажирскими поездами [1], при которых была поставлена под угрозу жизнь многих тысяч пассажиров. Проблема с обеспечением безопасности движения на переездах продолжает оставаться актуальной и в настоящее время. Так, 23 мая 2011 г. на перегоне Кувандык – Медногорск водитель автомобиля «МАЗ», нарушив правила, выехал на переезд перед приближающимся пассажирским поездом [2]. В результате столкновения автомобиль выбросило на встречный путь, в пассажирском поезде сошедшие с рельсов локомотив и 2 почтово-багажных вагонов выехали на нечетный путь, где столкнулись с проходящим в этот момент грузовым составом, что повлекло за собой сход с рельсов локомотива и 12 вагонов-цистерн.

Причины возникновения аварийных ситуаций на железной дороге имеют многофакторный характер, и их невозможно заранее спрогнозировать. Однако можно снизить динамические нагрузки при соударениях, используя новые подходы к конструированию подвижного состава, предусматривающие наличие в его конструкции системы пассивной безопасности. Система пассивной безопасности включает специальные жертвенные элементы, не являющиеся частью вагона, и жертвенные зоны, расположенные в концевых частях конструкции экипажа, которые в случае аварийного столкновения деформируются по заданному сценарию.

В странах Балтии, СНГ, в том числе и в Украине, в отличие от европей-

ских стран, практически единственным устройством, используемым для сцепления вагонов в поезде, является автосцепное устройство СА-3. Использование автосцепного устройства СА-3 на пассажирских локомотивах и вагонах имеет ряд недостатков:

- интенсивные износы автосцепок по контуру зацепления;
- высокий уровень шума при движении поезда из-за постоянных ударов автосцепки о жесткую центрирующую балочку;
- значительная масса, определяемая большим запасом прочности;
- необходимость дополнительного оборудования пассажирских вагонов буферами для устранения продольных зазоров;
- возможность саморасцепов при неблагоприятном сочетании вертикальных и горизонтальных продольных сил.

Кроме того, автосцепное устройство СА-3 и особенности его функционирования препятствуют работе жертвенных элементов, устанавливаемых в консольных частях рамы кузова локомотива, за счет деформации которых происходит наибольшее гашение кинетической энергии удара в случае столкновения. Поэтому при создании современного подвижного состава требуется разработка автосцепных устройств нового поколения, не имеющих массивной головки автосцепки, что позволит при действии сжимающих сил, превышающих допустимые «Нормами...» значения [3], уводить автосцепку в подвагонное пространство. Необходимо отметить, что различные виды пассажирского подвижного состава, особенности его производства и эксплуатации, а также длина и база экипажей определяют отличия в требованиях, предъявляемых к новому автосцепному устройству и, следовательно, конструктивным решениям. Например, автосцепное устройство для высокоскоростного поезда имеет длинноходовые аварийные амортизаторы, требующие наличия жертвенных зон на кузове. На пригородном подвижном составе такие амортизаторы исключаются. Кроме того, нормативные нагрузки, на которые рассчитывается автосцепное устройство для поезда локомотивной тяги, моторвагонного и высокоскоростного поездов, являются различными.

Так как в настоящее время для отечественного подвижного состава локомотивной тяги не разработаны автосцепные устройства нового поколения и не реализован механизм увода автосцепок СА-3 в подвагонное пространство, то для защиты экипажей пассажирских поездов при аварийных столкновениях локомотивы и вагоны должны оборудоваться поглощающими аппаратами повышенной энергоемкости с встроенными в них устройствами пассивной защиты [4].

Исследуем динамическую нагруженность конструкции пассажирского локомотива массой 126 т в случае его соударения с жесткой преградой. Масса препятствия составляет 80 т, что соответствует массе груженого грузового вагона. Предполагаем, что локомотив оборудован автосцепными устройствами СА-3 с резинометаллическими поглощающими аппаратами Р-2П либо Р-5П. Описание силовой характеристики межвагонной связи, имитирующей взаимодействие поглощающего аппарата и конструкции локомотива при ударе о жесткую преграду, выбрано таким же, как в работе [5]. При этом учтена возможность появления остаточных деформаций в конструкции кузова локомотива.

Рассмотрим столкновения локомотива с преградой со скоростями, значительно превышающими нормативные скорости при маневровых соударениях. В таблице приведены максимальные значения сжимающих усилий, дейст-

вующих на локомотив, ускорений локомотива и остаточных деформаций, полученных в результате компьютерного моделирования столкновения локомотива с жесткой преградой при разных скоростях соударения.

Таблица

Исследуемые величины	Скорость соударения, км/ч									
	Аппарат Р-2П					Аппарат Р-5П				
	8	10	20	30	8	9	10	20	30	
Усилие, МН	3,03	3,16	4,10	5,31	2,18	3,04	3,11	4,07	5,28	
Ускорение, g	2,4	2,5	3,3	4,2	1,7	2,2	2,5	3,2	4,2	
Остаточная деформация, м	0,004	0,024	0,162	0,340	0	0,006	0,016	0,157	0,335	

Анализ результатов численного моделирования нештатных маневровых соударений локомотива с неподвижно стоящим груженым вагоном со скоростью до 9 км/ч показал, что энергоемкость поглощающего аппарата Р-5П обеспечивает допустимый уровень продольных сил, действующих на локомотив. Поглощающий аппарат Р-2П имеет более низкую энергоемкость и допускает скорость соударения не более 7 км/ч. При сверхнормативных скоростях соударения 10 км/ч и выше уровень сжимающих сил, действующих на локомотив, превышает предельное допустимое значение [3] и в элементах конструкции локомотива возникают пластические деформации. При достаточно больших относительных скоростях соударения тип рассматриваемых поглощающих аппаратов автосцепного устройства практически не влияет на уровень максимальных значений продольных сил и ускорений локомотива. Так, при скорости соударения, равной 36 км/ч, сжимающие силы, действующие на локомотив, составляют порядка 6,1 МН, ускорения – 4,8 g, остаточные деформации – 0,45 м в случае оборудования локомотива как аппаратами Р-5П, так и Р-2П. Таким образом, оборудование локомотива только автосцепными устройствами с поглощающими аппаратами не обеспечивает целостности его конструкции и безопасность локомотивной бригады в экстремальных ситуациях, возникающих в результате аварийного столкновения с препятствием большой массы. Поэтому особую значимость приобретают вопросы пассивной защиты пассажирских локомотивов, как наиболее подверженных повреждениям единиц подвижного состава в случае лобовых столкновений поездов или при наезде поезда на преграду.

В европейских странах при разработке вновь проектируемого скоростного и высокоскоростного подвижного состава наряду с базовыми требованиями по обеспечению прочности экипажа введены дополнительные требования EN 15227:2008 в отношении системы пассивной безопасности [6]. Известны различные конструктивные элементы, выполняющие функции пассивной защиты подвижного состава в случае столкновения. На европейском подвижном составе нового поколения для обеспечения безопасности локомотивных бригад и пассажиров, сохранности грузов и предохранения от повреждения основных конструкций локомотива и вагонов применяются энергопоглощающие буфера, которые при столкновениях поезда с препятствием с максимально возможной степенью поглощают энергию соударения путем собственной деформации вплоть до разрушения [7, 8, 9]. Так, локомотивы семейства Prima II, разработанные компанией Alstom, оборудованы системой пассивной безопасности, которая осуществляет поэтапное поглощение энергии соударения:

- на первом этапе поглощение энергии происходит буферами категории С за счет их упругого деформирования;
- на втором этапе гашение энергии происходит за счет пластической деформации специально сконструированных для этой цели энергопоглощающих элементов буферов;
- на третьем этапе кинетическая энергия удара поглощается за счет запрограммированной пластической деформации предохранительного модуля, установленного за буферами.

Поэтапный процесс деформирования буферов и предохранительного модуля показан на рис. 1.

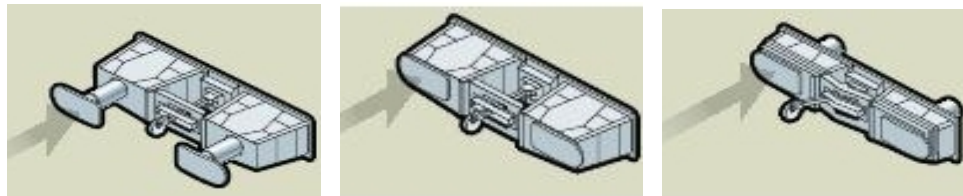


Рис. 1

Энергопоглощающие буферы крепятся на концевых брусках через кронштейны и рассчитаны на поглощение энергии 1 МДж. Предохранительный модуль включает два коробчатых кронштейна, рассчитанных на поглощение энергии 1,25 МДж. Общая поглощающая способность защитных комплектов, установленных в концевых частях локомотива, составляет 2,25 МДж [7, 8].

В требованиях EN 15227:2008 также описаны тестовые сценарии столкновения, характеризующие наиболее типичные аварийные ситуации, возникающие на железнодорожном транспорте, которые являются обязательными при экспериментальной и расчетной отработках системы пассивной безопасности. Базовыми для оценки проектируемого уровня защиты вновь разрабатываемого подвижного состава, оборудованного жертвенными элементами в консольных частях рам экипажей, являются сценарии лобового столкновения двух идентичных поездных составов со скоростью 36 км/ч и лобового столкновения поездного состава со скоростью 36 км/ч с неподвижно стоящим грузовым вагоном массой 80 т, оснащенного стандартными буферами, силовая характеристика которых представлена линейной функцией с максимальным ходом 105 мм и силой закрытия, равной 1,18 МН [6]. При численном моделировании установленных сценариев грузовой вагон представляется в виде жесткого тела с одной степенью свободы.

Оценим эффективность защитных комплектов, которыми оборудованы грузовые локомотивы семейства Prima II. Поскольку масса локомотива Prima II составляет 86 т и сопоставима с массой груженого грузового вагона, то для оценки эффективности работы устройств пассивной защиты достаточно выполнить компьютерное моделирование сценария столкновения эталонного поезда с неподвижно стоящим вагоном со скоростью 36 км/ч. В качестве эталонного поезда при создании нового локомотива рассматривается сцеп, состоящий из локомотива и грузового вагона. Учитывается, что локомотив оборудован системой пассивной безопасности с двух концов. На рис. 2 и рис. 3 приведены соответственно зависимости максимальных значений сжимающих сил, действующих на локомотив, и ускорений локомотива от скоростей столкновения сцепа с грузовым вагоном.

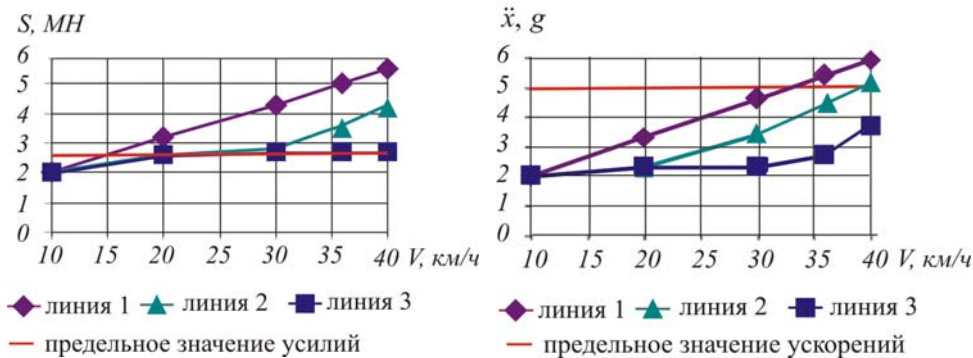


Рис. 2

Рис. 3

Линия 1 соответствует варианту, когда локомотив оборудован только буферами КК-ZC4, линия 2 – варианту, когда локомотив оснащен буферами КК-ZC4 с энергопоглощающими элементами, и линия 3 – варианту, когда локомотив оборудован системой пассивной безопасности компании Alstom. Красные линии соответствуют предельным уровням значений усилий и ускорений.

Как видно из приведенных результатов расчета, для локомотива, оборудованного только буферами КК-ZC4, безопасность основной конструкции и обслуживающего персонала от ударных нагрузок обеспечивается для скоростей соударения до 15 км/ч. В случае соударения со скоростью 15 км/ч и выше уровень продольных сил, действующих на локомотив, превосходит предельно допустимый (2,5 МН), в элементах конструкции локомотива возникают значительные пластические деформации. Использование энергопоглощающих буферов способствует эффективному поглощению и рассеиванию энергии соударения при скоростях, не превышающих 25 км/ч, тем самым предохраняя конструкцию локомотива от серьезных повреждений. Оборудование локомотивов семейства Prima II системой пассивной безопасности в виде энергопоглощающих буферов и предохранительных модулей позволяет обеспечить целостность конструкции локомотива и защиту локомотивной бригады при скоростях столкновения до 36 км/ч. При этом максимальное значение продольного ускорения кузова локомотива не превышает 5g и максимальное усилие, действующее на несущую конструкцию локомотива при срабатывании устройств поглощения энергии, не приводит к возникновению остаточных деформаций рамы.

Таким образом, путем численного моделирования процесса аварийного соударения эталонного поезда с неподвижно стоящим грузовым вагоном согласно тестовому сценарию столкновения показана эффективность работы системы пассивной безопасности, которая разработана и внедрена компанией Alstom в конструкциях локомотивов нового поколения семейства Prima II.

1. Волков А. Н. Безопасность движения – на уровень международных стандартов / А. Н. Волков // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 4. – С. 14 – 21.
2. www.infox.ru/accident/incident/2011/05/23/12_chyelovyer_postra.phtml.
3. Нормы для расчетов и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – М.: ВНИИЖТ, 1998 г. – 145 с.
4. Палик Ф. Сцепные устройства для подвижного состава железных дорог России / Ф. Палик // Revue super express. – 2006. – № 3. – С. 10 – 17.
5. Блохин Е. П. Расчеты и испытания тяжеловесных поездов / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин, Е. Л. Стамблер и др. – М.: Транспорт, 1986. – 263 с.
6. EN 15227. Railway applications – Crashworthness requirements for railway vehicle bodies. – Brussel : EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2008. – 37 p.
7. Сирь В. Механическая часть грузовых локомотивов семейства Prima / В. Сирь // Железные дороги мира. – 2009. – № 5. – С. 32 – 45.

8. *Kraus T.* Энергопоглощающие буфера как средство защиты при столкновениях / *T. Kraus* // Железные дороги мира. – 2010. – № 2. – С. 70 – 72.
9. www.transport.alstom.com.

Институт технической механики
НАН Украины и НКА Украины,
Днепропетровск

Получено 16.06.11,
в окончательном варианте 16.01.12