

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ ПАССИВНОЙ ЗАЩИТЫ СКОРОСТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ПОЕЗДА ПРИ АВАРИЙНЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ

Выполнен анализ существующих концепций пассивной безопасности пассажирских поездов, разработанных с учетом требований европейского стандарта EN 15227 и американского стандарта AAR S-580. Рассмотрены концептуальные схемы пассажирских поездов локомотивной тяги с системами пассивной безопасности для случаев оборудования железнодорожных экипажей отдельными ударно-тяговыми устройствами и автосцепными устройствами, которые могут сдвигаться назад при аварийном столкновении поезда с препятствием. Описана реализованная немецкой компанией EST Eisenbahn-Systemtechnik GmbH концепция пассивной защиты пассажирского поезда для железных дорог Европы. Приведена концепция пассивной защиты пассажирского поезда локомотивной тяги для железных дорог США. Проведен анализ существующих концепций пассивной защиты моторвагонного пассажирского поезда постоянного формирования. Приведены различные технические решения ведущих мировых компаний, в частности Bombardier Transportation, Alstom, Dellner, Voith Turbo Scharfenberg, Siemens. Рассмотрена концепция пассивной защиты моторвагонного поезда SCRRR Metrolink для железных дорог США. Приведены концепции пассивной защиты электропоездов Desiro RUS (“Ласточка”) и ЭКр1, предназначенных для эксплуатации на железных дорогах с шириной колеи 1520 мм. На основе результатов анализа мирового опыта по пассивной защите пассажирских поездов при аварийных столкновениях разработаны основные положения концепции пассивной защиты скоростного пассажирского поезда, предназначенного для эксплуатации на железных дорогах с шириной колеи 1520 мм.

Виконано аналіз існуючих концепцій пасивної безпеки пасажирських поїздів, розроблених з урахуванням вимог європейського стандарту EN 15227 і американського стандарту AAR S-580. Розглянуто концептуальні схеми пасажирських поїздів локомотивної тяги з системами пасивної безпеки для випадків обладнання залізничних екіпажів роздільними ударно-тяговими пристроями та автосцепними пристроями, які можуть зсуватися назад при аварійному зіткненні поїзда з перешкодою. Описана реалізована німецькою компанією EST Eisenbahn-Systemtechnik GmbH концепція пасивного захисту пасажирського поїзда для залізниць Європи. Наведено концепцію пасивного захисту пасажирського поїзда локомотивної тяги для залізниць США. Проведено аналіз існуючих концепцій пасивного захисту моторвагонного пасажирського поїзда постійного формування. Наведено різні технічні рішення провідних світових компаній, зокрема Bombardier Transportation, Alstom, Dellner, Voith Turbo Scharfenberg, Siemens. Розглянуто концепцію пасивного захисту моторвагонного поїзда SCRRR Metrolink для залізниць США. Наведено концепції пасивного захисту електропоїздів Desiro RUS (“Ластівка”) та ЕКр1, призначених для експлуатації на залізницях з шириною колії 1520 мм. На основі результатів аналізу світового досвіду з пасивного захисту пасажирських поїздів при аварійних зіткненнях розроблено основні положення концепції пасивного захисту швидкісного пасажирського поїзда, призначеного для експлуатації на залізницях з шириною колії 1520 мм.

The existing concepts of a passive protection of passenger trains are analyzed considering requirements of the European Standard EN 15227 and the American Standard AAR S-580. Conceptual schemes of passenger trains of locomotive traction with passive safety systems are considered for the equipment of railway vehicles with separate impact-traction devices and automatic coupler drawbars, which can move back at emergency collisions with an obstacle. A concept of the German company EST Eisenbahn-Systemtechnik GmbH for a passive protection of the passenger train operating on European railways is described. A concept of a passive protection of the passenger train of locomotive traction for US railways is considered. The existing concepts of a passive protection of a diesel passenger train of constant forming are analyzed. Different technical designs of the leading world companies, including Bombardier Transportation, Alstom, Dellner, Voith, Turbo Scharfenberg, Siemens, are presented. A design of a passive protection of the SCRRR Metrolink diesel train for US railways is examined. Designs of a passive protection of electric trains Desiro RUS (“Swallow”) and EKr1 operating on railways with 1520 mm gauge are given. Based on the results of world experience in a passive protection of passenger trains at emergency collisions, the basic concepts of a passive protection of a high-speed train operating on railways with 1520 mm gauge are developed.

**Ключевые слова:** Система пассивной безопасности, пассажирский подвижной состав, аварийное столкновение.

**Введение.** Современные тенденции развития железнодорожного транспорта на пространстве колеи 1520 мм направлены на обновление подвижного состава, повышение скорости перевозок, внедрение скоростного пассажирского движения, ориентацию на европейские стандарты. В странах ЕС с

2008 г. при разработке новых конструкций железнодорожного подвижного состава руководствуются требованиями стандарта EN 12663 [1] по статической прочности, стандарта EN 15227 [2] по пассивной безопасности при аварийных столкновениях согласно четырем тестовым сценариям, а также требованиями технической спецификации TSI [3] по эксплуатационной совместимости железнодорожных экипажей.

Разработка конструкций пассажирского подвижного состава (ПС) нового поколения для железных дорог с шириной колеи 1520 мм должна опираться на прогрессивные научно-технические решения и учитывать опыт ведущих мировых компаний, которые изначально встраивают системы пассивной безопасности (СПБ) в конструкции ПС. При аварийном столкновении поезда с препятствием СПБ без участия машиниста позволяют уменьшить возникающие при ударе продольные усилия и ускорения в результате пластического деформирования и разрушения специальных устройств поглощения энергии (УПЭ). В странах ЕС СПБ интегрируются в конструкции экипажей всех вновь проектируемых пассажирских поездов локомотивной тяги с прицепными вагонами и моторвагонного подвижного состава. В настоящее время на пространстве колеи 1520 мм разрабатывается Межгосударственный стандарт, регламентирующий пассивную безопасность пассажирского ПС с учетом европейского опыта и отличительных особенностей в конструкциях железнодорожных экипажей, а также статистики аварийных столкновений. При этом требования по эксплуатационной прочности конструкций пассажирского ПС и его безопасности при столкновениях на колее 1520 мм должны быть гармонизированы с требованиями соответствующих европейских стандартов EN 12663 и EN 15227.

В данной статье приведены результаты анализа существующих концепций пассивной безопасности пассажирских поездов, разработанных с учетом требований европейского стандарта EN 15227 [1] и американского стандарта AAR S-580 [4].

**Концепции пассивной защиты поезда локомотивной тяги.** Отличительными особенностями европейского локомотива с СПБ являются установленные в концевых частях рамы кузова деформируемые системы с противоположными устройствами, жертвенная зона и зона безопасности в конструкции каркаса кабины машиниста, несущая конструкция кузова. Деформируемые системы локомотива состоят из крэш-буферов и расположенных за ними крэш-элементов коробчатого или трубчатого типа. При аварийном столкновении происходит разрыв, срезание или развальцовка крэш-буферов и пластическое деформирование крэш-элементов. Концевые части промежуточных прицепных вагонов оборудуются крэш-буферами и противоположными устройствами. В конструкциях европейских пассажирских вагонов жертвенные зоны не предусматриваются. Пассивная защита большинства пассажирских поездов локомотивной тяги, оборудованных отдельными ударно-тяговыми устройствами (винтовыми стяжками), организована следующим образом. При аварийном столкновении основная часть энергии поглощается в результате срабатывания в заранее предусмотренной последовательности деформируемых систем локомотива и пластического деформирования элементов жертвенной зоны каркаса кабины машиниста. Остальная часть энергии столкновения поглощается в результате работы крэш-буферов на промежуточных прицепных вагонах.

Наглядным примером реализованной концепции пассивной защиты пассажирского поезда локомотивной тяги для железных дорог Европы является техническое решение немецкой компании EST Eisenbahn-Systemtechnik GmbH [5] для пассажирского поезда Inter city. Схема этого поезда с СПБ приведена на рис. 1.



Рис. 1 – Схема европейского пассажирского поезда Inter city с СПБ (EST Eisenbahn-Systemtechnik GmbH)

Согласно рис. 1, в концевых частях локомотива установлены две деформируемые системы G1.A1 энергоемкостью 0,85 МДж, а концевые части пассажирских вагонов оборудуются двумя крэш-буферами R1 с энергоемкостью 0,35 МДж.

Концепция пассивной защиты пассажирского поезда локомотивной тяги для железных дорог США [6] в соответствии с требованиями США по пассивной безопасности [4] предполагает оборудование локомотива и вагонов сдвигаемыми автосцепными устройствами (push-back coupler). Поскольку конструкция автосцепного устройства СА-3 создавалась на основе конструкции американского автосцепного устройства, опыт разработки push-back coupler и ее применения в СПБ экипажей пассажирского поезда может быть использован для создания сдвигаемого автосцепного устройства СА-3 и организации пассивной защиты подвижного состава колеи 1520 мм. При аварийном столкновении push-back coupler и противоположные устройства обеспечивают работу УПЭ, расположенных в концевых частях локомотива, жертвенных зон (Crush Zone) в кабинах машиниста и в концевых частях промежуточных вагонов (рис. 2).

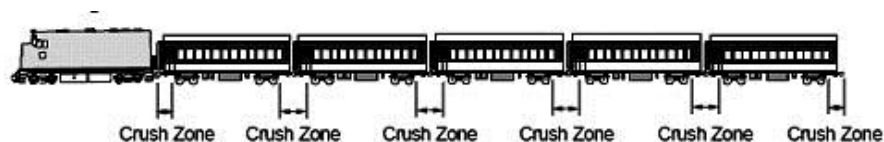


Рис. 2 – Схема поезда локомотивной тяги с СПБ для железных дорог США

**Концепции пассивной защиты моторвагонного поезда.** Пассивная защита пассажирских электропоездов и дизель-поездов постоянного формирования с головными вагонами организована таким образом, что основную часть энергии аварийного столкновения поглощают жертвенные элементы, установленные на головных вагонах. Передняя часть головного вагона оборудуется облегченной сцепкой и многоуровневой системой жертвенных элементов, которые, как правило, вынесены за пределы кабины машиниста. Сцепка необходима для выполнения маневренных работ, но практически не используется в штатном режиме движения поезда. Каркас кабины с пультом управления является усиленной зоной безопасности для выживания и эвакуа-

ции машиниста при аварийном столкновении. Промежуточные вагоны электропоездов и дизель-поездов постоянного формирования оборудуются сцепными и противоподъемными устройствами, в том числе содержащими энергопоглощающие элементы. Такой подход позволяет обеспечить совместную работу всех элементов СПБ указанных поездов, которые при аварийных столкновениях с препятствиями воспринимают удар как единый достаточно жесткий стержень с деформируемыми концевыми частями.

Концепцию пассивной защиты электропоезда с отдельными ударно-тяговыми устройствами, которую можно считать базовой, рассмотрим на примере четырехвагонного сочлененного пригородного электропоезда серии 422, состоящего из двух головных и двух промежуточных вагонов (рис. 3).



Рис. 3 – Пассажирский электропоезд серии 422 с СПБ

Электропоезд постоянного формирования серии 422 [7, 8], созданный консорциумом компаний Alstom и Bombardier Transportation, предназначен для эксплуатации на железных дорогах Германии со скоростью 140 км/ч. Концепция его защиты при аварийных столкновениях предполагает, что практически все энергопоглощение обеспечивается за счет системы пассивной безопасности концевых вагонов. Сочлененные промежуточные вагоны (под узлами соединения расположены тележки Якобса) позволяют организовать работу поезда как единого целого, обеспечить его устойчивое положение на рельсах, препятствуют сходу и напозанию вагонов друг на друга. Поезд оборудуется автосцепками Scharfenberg тип 10 с интегрированными в них энергопоглощающими элементами, которые срабатывают при аварийном столкновении, когда сцепка отводится назад. Концевые вагоны оснащаются двухуровневой системой коробчатых жертвенных элементов.

Первый уровень (основные элементы) включает два стальных УПЭ, расположенных на уровне буферов, а второй уровень (вспомогательные элементы) – два УПЭ из алюминиевого сплава, установленных на лобовой подоконной части. УПЭ первого уровня снабжены противоподъемными устройствами. Цельносварные конструкции каркасов кузовов головных и промежуточных вагонов выполнены из алюминиевых экструдированных профилей, соответствуют по прочности стандарту EN 12663 и обеспечивают возможность работы СПБ при аварийных столкновениях. Стальные лобовые части концевых вагонов с помощью кольцевого шпангоута состыкованы с основной конструкцией алюминиевого каркаса.

Концептуальная [8] силовая характеристика (зависимость контактной силы  $F_s$  от перемещения  $d$ ) при лобовом столкновении двух идентичных электропоездов серии 422 приведена на рис. 4. При столкновении по этому сценарию вначале работает гидравлический поглощающий аппарат автосцепки (сила закрытия 1000 кН при сжатии на 80 мм). Далее происходит необратимая деформация энергопоглощающего элемента, интегрированного в автосцепку, и контактная сила снижается до 750 кН. При перемещении  $d = 750$  мм в работу включаются два УПЭ первого уровня. Сила  $F_s$  возрастает до 2500 кН. При перемещении  $d = 955$  мм начинают работать два УПЭ второго уровня, сила  $F_s$  возрастает до 2900 кН. Общее перемещение при деформации всех элементов СПБ на концевой части головного вагона составляет 1100 мм. При этом гасится до 2,65 МДж энергии. Данная концепция получила дальнейшее развитие при создании электропоездов Bombardier Transportation нового поколения [9, 10], в частности электропоездов Spacium 3.06 [11], Talent 2 [12], Francilien [13].

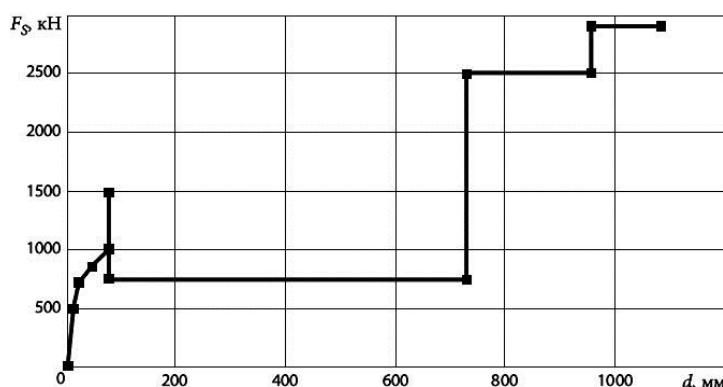


Рис. 4 – Концептуальная зависимость контактной силы  $F_s$  от перемещения  $d$  при лобовом столкновении двух идентичных электропоездов серии 422

Системный подход при решении вопроса пассивной безопасности моторвагонных поездов использует компания Dellner (Швеция) [14]. Она является одним из признанных мировых лидеров-поставщиков инновационных систем соединения единиц железнодорожного подвижного состава. Элементы межвагонных соединений и СПБ Dellner показаны на рис. 5.



Рис. 5 – Элементы межвагонных соединений и СПБ Dellner

Концептуальная схема электропоезда с СПБ Dellner приведена на рис. 6.

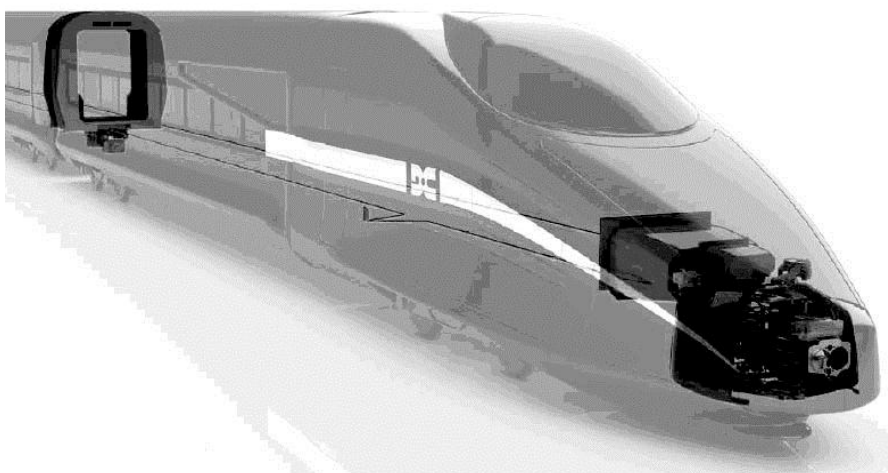


Рис. 6 – Концептуальная схема электропоезда с СПБ Dellner

Разработанная компанией Dellner концепция пассивной защиты поезда основана на контролируемом поэтапном поглощении энергии удара. Вначале срабатывают УПЭ сцепного устройства головного вагона, и в результате развальцовки трубчатого элемента, расположенного в концевой части сцепки, поглощается небольшая часть энергии. При этом сцепное устройство головного вагона сдвигается назад, позволяя расположенным в концевой части головного вагона поезда сотовым жертвенным элементам Dellner D-BOX поглотить основную часть энергии столкновения. В процессе пластической деформации элементов Dellner D-BOX происходят изменения в межвагонных соединениях. Нижние сцепные устройства, работающие при эксплуатационных режимах движения поезда, в результате разрушения болтовых соединений прекращают работу, а соединение вагонов осуществляется за счет верхних противоположных устройств с энергопоглощающими элементами.

Несомненный интерес представляет концепция пассивной защиты поезда SCRRRA Metrolink (Калифорния) [15, 16] (рис. 7). В поезде, изготовленном компанией Hyundai Rotem, использованы элементы пассивной безопасности, разработанные компанией Voith Turbo Scharfenberg. Комплексная система защиты при столкновениях соответствует новым требованиям по безопасности Федеральной ассоциации железных дорог США. Несущие кузова вагонов поезда выполнены из высокопрочной стали. СПБ поезда включает:

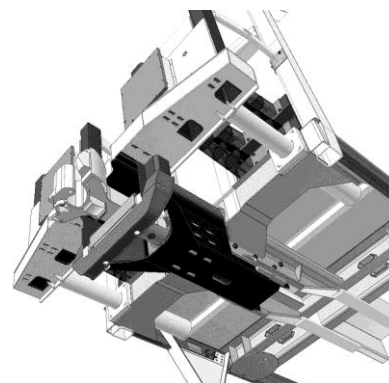
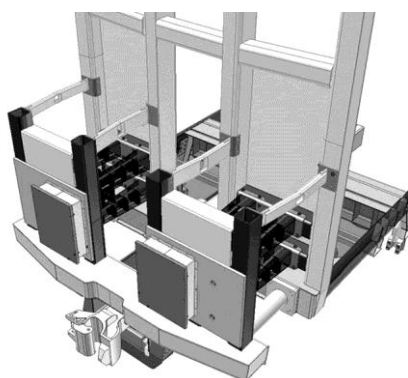
- сдвигаемые автосцепные устройства (push-back coupler);
- энергопоглощающие элементы в виде деформируемых труб, интегрированные в конструкцию сцепок;
- противоположные устройства;
- жертвенные зоны с двухступенчатой системой боковых энергопоглощающих элементов в концевых частях головных вагонов;
- жертвенные зоны в концевых частях промежуточных вагонов.

Немецкая компания Siemens разработала концепцию пассивной защиты электропоезда Desiro RUS (“Ласточка”) (рис. 8), предназначенного для эксплуатации со скоростью до 160 км/ч на железных дорогах России.



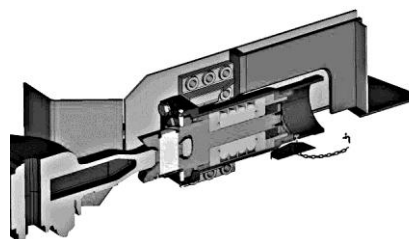
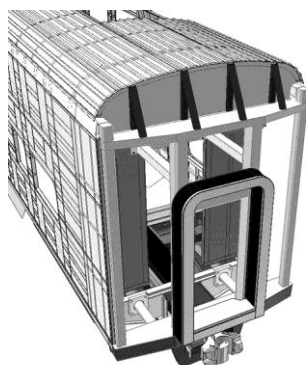
а)

б)



в)

г)



д)

е)

- а) – общий вид поезда SCRRR Metrolink;
- б) – фрагмент испытаний головного вагона с элементами СПБ;
- в) – схема СПБ головного вагона (вид спереди);
- г) – схема СПБ головного вагона (вид снизу);
- д) – схема СПБ промежуточного вагона;
- е) – сдвигаемые автосцепные устройства (push-back coupler)

Рис. 7 – Элементы пассивной защиты поезда SCRRR Metrolink



Рис. 8 – Электропоезд Desiro RUS (Ласточка) с СПБ

При этом использован опыт создания поезда Desiro ML для железных дорог Германии, а также электропоезда “Сапсан” (Velaro RUS) для России. Электропоезд Desiro RUS, как и Desiro ML, имеет пятивагонное исполнение, позволяющее включать в состав дополнительный шестой вагон. Цельнонессущий каркас кузова вагона изготовлен из закрытых алюминиевых экструдированных профилей. Лобовая подоконная стенка кабины машиниста выполнена из стали и оснащена стальными крэш-модулями, поглощающими энергию удара при столкновении [17, 18, 19, 20]. В аварийной ситуации при определенной силе удара сцепка срезается и уходит под вагон, далее вступает в работу основной крэш-модуль, оснащенный противоположным устройством. Примененные на электропоездах Desiro RUS крэш-модули являются новой разработкой компании Siemens. Конфигурация крэш-модуля специально адаптирована для возможных столкновений электропоезда Desiro RUS с безбуферным подвижным составом российского производства, оснащенным автосцепкой СА-3. Предусмотрено также поглощение энергии соударения в межвагонных беззорных сцепных устройствах (БСУ). Деформируемые элементы в сочетании с противоположными устройствами и БСУ позволяют в аварийной ситуации предотвратить сход электропоезда и обеспечить защиту пассажиров и поездной бригады.

В 2013 г. в Украине ПАО “Крюковский вагоностроительный завод” создан первый электропоезд ЭКр1 с СПБ [21, 22, 23], разработка которой выполнялась совместно с польской компанией IC eneniring [24]. Поезд состоит из 7 прицепных и 2 головных моторных вагонов (рис. 9).



Рис. 9 – Электропоезд ЭКр1 с СПБ



Конструкционная скорость его движения 160 км/ч. Головной вагон электропоезда оборудован автосцепным устройством СА-3, которое при аварийном столкновении сдвигается назад в подвагонное пространство. Межвагонные соединения электропоезда оборудованы БСУ. Кузов вагона имеет несущую конструкцию из нержавеющей стали. Трехступенчатая система пассивной безопасности включает коробчатые стальные крэш-элементы, расположенные на уровне буферного бруса, 2 элемента на уровне пола кабины и 5 элементов на уровне подоконного бруса (рис. 10).



Рис. 10 – Элементы СПБ головного вагона электропоезда ЭКр1

**Основные положения разработанной концепции пассивной защиты пассажирского поезда для железных дорог с шириной колеи 1520 мм.** В результате изучения анализа мирового опыта по пассивной защите пассажирских поездов различного назначения, нормативной базы по данной проблеме [23, 92, 119] и реализованных концепций пассивной защиты подвижного состава при аварийных столкновениях с препятствием разработаны следующие основные положения концепции пассивной защиты пассажирского поезда для железных дорог с шириной колеи 1520 мм.

1. Системы пассивной безопасности должны интегрироваться в конструкции экипажей всех вновь проектируемых пассажирских поездов локомотивной тяги с прицепными вагонами и моторвагонного подвижного состава (МВПС), в частности электропоездов и дизель-поездов.

2. Конструкции пассажирского ПС должны соответствовать новым требованиям по статической прочности и по безопасности при аварийных столкновениях. Эти требования должны быть гармонизированы (но не уменьшены) с требованиями соответствующих европейских стандартов EN 12663 и EN 15227.

3. Система пассивной безопасности должна обеспечить защиту пассажиров и персонала при тестовых сценариях столкновений, соответствующих наиболее вероятным случаям аварийных столкновений поездов с препятствием на железных дорогах. При аварийных столкновениях, условия которых отличаются от условий тестовых сценариев столкновений, СПБ способствует смягчению последствий этого столкновения. В качестве тестовых сценариев целесообразно использовать сценарии EN 15227, которые достаточно адек-

ватно характеризуют условия наиболее вероятных столкновений как на колее шириной 1425 мм, так и на колее 1520 мм. При этом необходима доработка моделей препятствий в тестовых сценариях столкновений для корректного учета работы сдвигаемого автосцепного устройства.

4. СПБ поезда должна включать:

– сдвигаемые автосцепные устройства, которые в случае аварийного столкновения при превышении осевыми силами, приложенными к устройству, заданного граничного значения, сдвигаются назад или в ином направлении и позволяют обеспечить работу противоположных устройств и УПЭ в аварийной ситуации;

– противоположные устройства для защиты от напоздания вагонов друг на друга при аварийном столкновении или соответствующие технические решения данной проблемы;

– многоступенчатую и многоуровневую систему УПЭ;

– путеочистители в лобовых частях локомотивов и головных вагонов.

В состав СПБ ПС, кроме перечисленных, могут входить и другие устройства и технические решения, снижающие риски для пассажиров и персонала поезда при аварийных столкновениях.

5. Сдвигаемое автосцепное устройство должно обеспечивать выполнение функций штатного автосцепного устройства. При маневровых столкновениях сдвигаемое автосцепное устройство работает в штатном режиме – энергопоглощение происходит за счет работы поглощающих аппаратов. Работа триггерного механизма сдвигаемого автосцепного устройства может осуществляться либо путем развальцовки деформируемой трубы, устанавливаемой за автосцепкой, либо путем срезания болтов, с помощью которых сцепка на салазках крепится к раме, когда уровень сжимающих сил в межвагонных соединениях превышает допустимое значение. Задвигаясь, сдвигаемое автосцепное устройство должно позволять сомкнуться концевым рамам и обеспечить контакт и работу энергопоглощающих и противоположных устройств, интегрированных в концевые части экипажей. При смещении автосцепного устройства энергия удара должна поглощаться контролируемым способом по заранее предписанной схеме. До исчерпания полного хода сдвигаемого автосцепного устройства не должно быть необратимой деформации несущей конструкции экипажа. Сдвигаемое автосцепное устройство должно выдерживать минимальную тяговую нагрузку после смещения его в подвагонное пространство, что позволит предотвратить нежелательное расцепление вагонов во время столкновения.

6. В конструкции рамы железнодорожного экипажа должно быть предусмотрено подвагонное пространство для увода автосцепного устройства в аварийной ситуации. Конструкция рамы должна выдерживать нагрузки от работы сдвигаемого автосцепного устройства и противоположных устройств без остаточных деформаций.

7. Противоположные устройства должны устанавливаться в лобовых частях пассажирских локомотивов и головных вагонов, а также в межвагонном пространстве. Противоположные устройства могут представлять собой как самостоятельные конструкции, так и совмещенные с энергопоглощающими элементами.

8. УПЭ должны размещаться:

– у локомотивов – в концевых частях локомотивов;

– на МВПС – на лобовых частях головных вагонов МВПС и, при необходимости, между вагонами МВПС;

– на пассажирских вагонах (при необходимости оборудования пассажирских вагонов УПЭ) – в консольных частях пассажирских вагонов.

9. При аварийных столкновениях согласно выбранным сценариям должна быть обеспечена следующая очередность срабатывания УПЭ:

– разрушаемые элементы автосцепных устройств в передней части локомотива или головного вагона;

– УПЭ и жертвенные зоны, размещенные в передней части локомотива или головного вагона;

– УПЭ, размещенные в межвагонных соединениях;

– жертвенные зоны в концевых частях вагонов (если они есть).

10. Энергия столкновения должна быть погашена в результате совместных действий всех УПЭ, задействованных в поглощении энергии при аварийном столкновении по каждому из сценариев столкновений. Планирование распределения суммарной энергоемкости между отдельными УПЭ должно быть выполнено так, чтобы не менее  $2/3$  суммарной энергоемкости приходилось на УПЭ, размещенные в концевых частях поезда. У локомотива УПЭ должны быть размещены в каждой его концевой части, у МВПС – на лобовых частях головных единиц с двух сторон состава. При этом целесообразно использовать максимально возможную по конструктивным условиям длину пространства, выделенного для установки УПЭ.

11. При тестовых сценариях столкновений СПБ ПС должна обеспечивать среднее значение продольного ускорения единиц подвижного состава не более  $5 g$  по абсолютной величине. Среднее значение продольного ускорения определяется как отношение изменения скорости на указанном интервале времени к величине данного интервала времени.

12. При тестовых сценариях аварийных столкновений СПБ ПС не должна допускать появления остаточных деформаций кузова в продольном направлении более  $50$  мм на каждые  $5$  м длины кузова и изменения линейных размеров по диагоналям дверных и оконных проемов более  $1\%$  от исходных размеров. Допускаются пластические деформации отдельных элементов несущей конструкции кузова единицы ПС, не приводящие к потере кузовом общей несущей способности.

13. Кабина машиниста локомотива нового поколения должна содержать антипроникающую лобовую стенку, жертвенную зону в передней части и зону безопасности в задней части. Если позволяют габаритные ограничения, целесообразно организовать последовательную работу основных УПЭ, установленных в концевой части рамы локомотива и жертвенной зоны кабины с целью снижения продольных усилий на раму и кузов локомотива при аварийных столкновениях.

14. При создании перспективных конструкций кабин машиниста головных вагонов МВПС целесообразно использовать комплексный подход, сочетающий традиционные решения, новые структурные элементы и систему УПЭ с инновационными технологиями на основе композитных материалов. Новая кабина машиниста должна содержать антипроникающую лобовую стенку и зону безопасности для выживания и эвакуации при аварийном столкновении. УПЭ целесообразно выносить за пределы кабины машиниста. При этом основные энергопоглощающие элементы располагать на уровне

сцепного устройства для защиты при столкновениях с железнодорожным ПС, а в лобовой подоконной части кабины машиниста располагать УПЭ, предназначенные для защиты при столкновениях с крупногабаритным препятствием на переезде. Конечный результат – законченная модульная конструкция кабины, которая имеет малый вес, универсальна в применении и может быть легко интегрирована в самые различные проекты.

15. Для организации зоны безопасности кабины машиниста, исключения ее смятия при столкновении с крупногабаритным препятствием необходимо, чтобы конструкция кабины удовлетворяла требованиям по прочности не меньшим, чем предлагает стандарт EN 12663. Для того чтобы удовлетворить этим требованиям, кузов локомотива необходимо изготавливать цельнонессущим, когда рама, боковые стены и крыша работают как одно целое. Такой кузов позволяет уменьшить общий вес локомотива. Кроме того, представляется целесообразным использовать в конструкциях кузовов экструдированные профили из алюминиевых сплавов и композитных материалов.

**Выводы.** Выполнен анализ существующих концепций пассивной защиты пассажирских поездов локомотивной тяги и моторвагонных поездов при аварийных столкновениях с препятствием на железнодорожном пути. На основе изучения мирового опыта по данной проблеме разработаны основные положения концепции пассивной защиты скоростных пассажирских поездов различного назначения, предназначенных для эксплуатации на железных дорогах с шириной колеи 1520 мм.

1. EN 12663. Railway applications – Structural requirements of railway vehicle bodies. – Brussel : European committee for standardization, 2000. – 18 p.
2. EN 15227. Railway applications – Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies. – Brussel : European committee for standardization, 2008. – 37 p.
3. Technical specification for interoperability relating to the rolling stock subsystem of the trans-European high-speed rail system (Техническая спецификация по совместимости подвижного состава трансъвропейской высокоскоростной железнодорожной системы) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:245:0402:0506:EN:PDF>
4. Locomotive Crashworthiness Requirements : AAR S-580 Standard. – Association of American Railroads. – 2008. – 44 p.
5. The EST crash buffer (EST крэш буфер) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.crashbuffer.com/index.htm>.
6. Tyrell D. Overview of a Crash Energy Management Specification for Passenger Rail Equipment / D. Tyrell, E. Martinez, K. Jacobsen, D. Parent, K. Severson, M. Priante, A. B. Perlman // American Society of Mechanical Engineers. – 2006. – № RC2006-94044. – P. 38 – 48.
7. Новый электропоезд для железных дорог Германии // Железные дороги мира. – 2008. – № 9. – С. 48 – 55.
8. Bruggemann А. Электропоезд серии 422 / А. Bruggemann // Железные дороги мира. — 2010. – № 5. – С. 37 – 49.
9. Bombardier Commuter and Regional Trains (Bombardier пригородные и региональные поезда) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-vehicles/commuter-and-regional-trains.html>.
10. Бомбардье Транспортейшн: Создание конкурентного преимущества посредством международного сотрудничества : Презентация для V Международной конференции “ОАО “Российские железные дороги” на рынке транспортных услуг : взаимодействие и партнерство” Москва, 28 ноября 2007 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.businessdialog.ru/files/rtu-2007/sannikov.pdf>.
11. Robinson M. Transport of de-light: the design and prototyping of a lightweight crashworthy rail vehicle driver’s cab / M. Robinson, J. Carruthers, O’Neill C., Ingleton S., Grasso M. // Procedia - Social and Behavioral Sciences 48. – 2012 – P. 672 – 681.
12. Электропоезд Talent 2 компании Bombardier // Железные дороги мира – 2009. – № 12. – С. 39 – 43.
13. Le Francilien Plate-forme de produits Spacium (Francilien платформа продуктов Spacium) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://transfer.bombardier.com/download/get/CBFXRL9F83lzyY4izbCo1M9IMKYy9VdFq11eRCWTa2es7amFPo>.
14. Dellner – Train connection systems couplers (Dellner – Железнодорожные автосцепные устройства) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.dellner.se/Train\\_connection\\_systems\\_couplers.html](http://www.dellner.se/Train_connection_systems_couplers.html).

15. *Jarboe G. General Vehicle Design Technologies / G. Jarboe // Presentations from the APTA Rail Conference June 6-9, 2010 in Vancouver, British Columbia. – Vancouver : APTA. – 2010. – 21 p.*
16. Обеспечение безопасности для изделий других производителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://resource.voith.com/vt/publications/downloads/1994\\_r\\_g1712\\_rus\\_2013-03.pdf](http://resource.voith.com/vt/publications/downloads/1994_r_g1712_rus_2013-03.pdf).
17. *Циглер В. “Desiro rus” – перспективный электропоезд для пригородных перевозок в России / В. Циглер, Р. Манглер // Локомотив. – 2012. – № 4. – С. 35 – 38.*
18. *Манглер Р. “Desiro rus” – перспективный электропоезд для пригородных перевозок в России / Р. Манглер // Локомотив-информ. – 2012. – № 10. – С. 20 – 24.*
19. *Высокоскоростной поезд Velaro для России / А. Лунп, Д. Йон, Р. Манглер и др. // Железные дороги мира. – 2009. – № 1. – С. 36 – 50.*
20. *Технические особенности высокоскоростного поезда Velaro RUS / В.А. Гапанович, А.С. Назаров, А.Н. Яговкин и др. // Техника железных дорог. – 2009. – № 1. – С. 37 – 49.*
21. *Игнатов Г. С. Межрегиональный двухсистемный электропоезд / Г. С. Игнатов // Локомотив-информ. – 2012. – № 10. – С. 28 – 33.*
22. *Игнатов Г. С. Межрегиональный двухсистемный электропоезд / Г. С. Игнатов // Локомотив-информ. – 2012. – № 11. – С. 54 – 58.*
23. *Игнатов Г. С. Межрегиональный двухсистемный электропоезд / Г. С. Игнатов // Локомотив-информ. – 2012. – № 12. – С. 16 – 19.*
24. *IC engineering digital engineering solution (IC численные расчеты для технического решения) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.icej.co.jp/en/digital/>.*

Институт технической механики  
 Национальной академии наук Украины и  
 Государственного космического агентства Украины,  
 Днепропетровск

Получено 01.12.14,  
 в окончательном варианте 22.01.15