

## ПАССИВНАЯ ЗАЩИТА ЛОКОМОТИВА СКОРОСТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ПОЕЗДА ПРИ АВАРИЙНОМ СТОЛКНОВЕНИИ С ПРЕПЯТСТВИЕМ

Приведены результаты анализа современных мировых тенденций и подходов к решению проблемы пассивной безопасности железнодорожных экипажей, в частности локомотивов, а также действующей в настоящее время в европейских странах нормативной базы, регламентирующей пассивную безопасность скоростных и высокоскоростных пассажирских поездов. Определены основные принципы создания пассивной защиты локомотива скоростного пассажирского поезда. Предложена концепция пассивной защиты локомотива нового поколения, предназначенного для скоростного железнодорожного движения по колеям 1520 мм.

Приведено результати аналізу сучасних світових тенденцій і підходів до вирішення проблеми пасивної безпеки залізничних екіпажів, зокрема локомотивів, а також нормативної бази, яка діє у даний час в європейських країнах і регламентує пасивну безпеку швидкісних та високошвидкісних пасажирських поїздів. Визначено основні принципи створення пасивного захисту локомотиву швидкісного пасажирського поїзда. Запропоновано концепцію пасивного захисту локомотиву нового покоління, призначеного для швидкісного залізничного руху по колії 1520 мм.

The analytical results of the world modern tendencies and approaches to solve the problem of a passive safety of railway vehicles, in particular locomotives are presented. Also, the existing normative base of the European countries that regulates a passive safety of express and high-speed passenger trains is considered. The basic concepts of the design of a passive protection of a high-speed passenger train locomotive are determined. A concept of a passive protection of a new-generation locomotive designed for the high-speed railway motion on the track of 1520 mm is proposed.

Аварии, вызванные столкновением железнодорожных поездов или наездом поезда на препятствие, происходят во всем мире. Причины их возникновения могут быть разными, включая и человеческий фактор, и отказ техники, и стихийные природные явления, и т.д. Наиболее тяжелыми последствиями, связанными с риском для жизни людей, характеризуются аварии, которые возникают при столкновении пассажирских поездов или наезде поезда на препятствие. Основным способом предотвращения аварийных столкновений, конечно, является использование средств активной защиты, в первую очередь эффективной тормозной системы. К сожалению, не все причины можно устранить и не всякую аварию можно предотвратить. Поэтому необходимо учитывать возможность ее возникновения и заранее позаботиться о защите подвижного состава от сверхнормативных ударных воздействий в аварийных ситуациях. Особую актуальность вопросы безопасности железнодорожного движения приобретают в настоящее время в связи с организацией скоростного движения на железных дорогах Украины и России. Как показывает мировой опыт, современные тенденции по повышению безопасности движения направлены на разработку и создание новых конструкций железнодорожных экипажей, оборудованных средствами пассивной защиты при аварийных столкновениях.

Поскольку локомотивы первыми испытают сверхнормативные удары, их пассивной защите должно быть уделено особое внимание. Поэтому в настоящее время важной и актуальной проблемой есть создание перспективной конструкции локомотива с элементами пассивной защиты от сверхнормативных ударов в аварийных ситуациях, вызванных столкновением поездов или наездом поезда на преграду.

© М.Б. Соболевская, С.А. Сирота, И.Б. Теличко, 2009

Средства пассивной защиты предназначены для обеспечения сохранности жизни пассажиров и поездной бригады, снижения ущерба, наносимого подвижному составу, сокращения затрат на ликвидацию последствий аварий и, в целом, для повышения безопасности железнодорожных перевозок.

Основная задача пассивной защиты – уменьшение возникающих при аварийном столкновении продольных сил и ускорений в результате превращения кинетической энергии удара в контролируемую работу средств пассивной защиты, связанную с упругопластическим деформированием и разрушением входящих в состав защитных устройств жертвенных элементов, т.е. конструкций, которые намеренно приносятся в жертву при аварийных столкновениях. Пассивная безопасность экипажа – это свойство его конструкции уменьшать тяжесть последствий аварии, если, несмотря на принятые меры активной безопасности, авария все же произошла.

Принцип пассивной безопасности состоит в следующем. В передней и задней частях кузова и рамы локомотива вводятся энергопоглощающие элементы и создаются жертвенные зоны путем преднамеренного ослабления силовой структуры локомотива в продольном направлении за счет уменьшения поперечных сечений или толщин стенок конструктивных элементов, введения отверстий в слабонагруженных местах. Ослабление силовой структуры локомотива в жертвенных зонах сочетается с повышением жесткости элементов, ограничивающих зону безопасности, предназначенную для выживания и эвакуации людей. Возможность возникновения пластических деформаций в зоне безопасности должна быть исключена либо сведена к минимуму. Таким образом, пассивная безопасность локомотива при столкновении в значительной степени закладывается в его конструкцию, чтобы минимизировать потребность в дополнительных объемах и массе. Конструкция локомотива, содержащая силовые и жертвенные элементы, должна выдерживать возникающие в эксплуатации нормативные нагрузки, а при аварийном столкновении разрушаться по заданному сценарию, рассеивая энергию удара. При этом для человека, находящегося в зоне безопасности, допустимый предел продольного ускорения во время столкновения равен  $5g$  согласно требованиям “Технической спецификации совместимости отдельных частей подвижного состава трансъевропейского высокоскоростного железнодорожного сообщения” (TSI-HGV) (2002 г.). Это ограничение связано с тем, чтобы избежать возможного при высоких скоростях столкновения удара внутренних органов человека (например, мозговой массы, печени, сердца) о твердые части скелета.

Анализ действующей в настоящее время в европейских странах нормативной базы, регламентирующей пассивную безопасность пассажирских поездов, показал, что страны Западной Европы при создании подвижного состава руководствуются едиными нормативными требованиями Международного союза железных дорог (МСЖД). В европейских странах разработаны и введены в действие ряд стандартов в области совместимости подвижного состава (AEIF F973/98 D/F, ERRI B205/RP1, ERRI B165/RP12, ERRI B106/RP20 и RP26), которые регламентируют оборудование экипажей устройствами защиты в аварийных ситуациях. Европейский стандарт EN 50126 (RAMS: Reliability, Availability, Maintainability and Safety, т.е. надежность, доступность, ремонтпригодность и безопасность) является базовым при разработке мероприятий по улучшению пассивной безопасности за счет модернизации

существующих экипажей и проектирования новых с защитой от аварийных ударов. При максимальной скорости движения 190 км/ч и выше следует учитывать также требования введенной в действие в 2002 г. “Технической спецификации совместимости отдельных частей подвижного состава трансъевропейского высокоскоростного железнодорожного сообщения” (TSI-HGV). Эта спецификация ранее была основным документом, определяющим безопасность при столкновениях, но ее требования относились исключительно к жестко конфигурируемым высокоскоростным моторвагонным поездам со скоростью движения до 250 км/ч по новым линиям. В настоящее время в этот документ включены поезда, ведомые локомотивами с максимальной скоростью 190 км/ч [1]. В июле 2008 г. вступил в действие новый европейский стандарт EN 15227:2008 “Railway applications – Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies” (“Требования стойкости к ударным нагрузкам кузовов железнодорожного подвижного состава”) [2], который применим пока только к экипажам пассажирского поезда. Требования, прописанные в стандарте EN 15227:2008, направлены на повышение безопасности пассажиров и поездной бригады в случае аварийного столкновения и основаны на результатах проводившегося в 1991–1995 гг. анализа аварийных ситуаций на европейских железных дорогах. На основе полученных результатов в европейском стандарте EN 15227:2008 [2] определены четыре основных сценария для моделирования наиболее распространенных аварийных столкновений:

- лобовое столкновение двух идентичных поездов со скоростью 36 км/ч;
- лобовое столкновение со скоростью 36 км/ч поезда с неподвижным грузовым вагоном массой 80 т;
- наезд на переезде поезда со скоростью 110 км/ч на грузовой автомобиль массой 15 т, имеющий высокий центр тяжести;
- столкновение между поездом и небольшим препятствием, например легковым автомобилем с низким центром тяжести, животным или мусором.

В настоящее время в Российской Федерации разработана стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 года [3 – 5]. Она направлена на преодоление технического и технологического отставания России от передовых стран мира по уровню железнодорожной техники. Один из принципов, положенных в основу стратегии: повышение уровня безопасности функционирования железнодорожного транспорта является важнейшим государственным приоритетом развития и модернизации отрасли, научных исследований и текущей эксплуатационной работы. Одной из основных задач рассматриваемой стратегии является задача разработки и адаптации новейших технологий и программно-аппаратных средств обеспечения безопасности, в том числе пассивных и активных средств защиты. В период до 2030 года должно быть организовано производство подвижного состава нового поколения, в частности производство скоростных и высокоскоростных поездов. Для обеспечения высокоскоростного движения предусмотрен ввод в эксплуатацию высокоскоростных электропоездов и инфраструктуры для скоростей движения до 250 км/ч и до 350 км/ч. Создание высокоскоростных магистралей требует разработки и принятия новой нормативно-технической и правовой базы. При этом основополагающим должен стать разрабатываемый в настоящее время технический регламент “О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта”. В стратегии отмечено, что, учитывая отсутствие в Российской Федерации опыта проектирования, строительства и эксплуатации

высокоскоростных магистралей, целесообразно принять за основу нормативную базу стран-членов Европейского Союза (Франция, Германия) и адаптировать ее для России [3, 6]. Подобное решение позволит значительно сократить время на проведение научно-исследовательских работ и позволит избежать значительных затрат. Аналогичные стратегические задачи в ближайшее время должны быть поставлены и в Украине.

Анализ существующих технических решений по пассивной защите железнодорожных экипажей, в частности локомотивов, выполнен на основе патентно-библиографического поиска по патентным базам данных Европейского патентного ведомства, а также России и Украины. Установлено, что основные решения по пассивной защите локомотивов предполагают оборудование лобовой и задней частей локомотива многоступенчатой системой средств энергопоглощения, которые последовательно разрушаются при ударе (патенты JP 2006168707, JP 2006168709, JP 2005053346, US 2005072331, US 2005161554, GB 2411630, US 2007186802, EP 1827943, EP1930226, EP1900593, DE102006044397, DE102006043926). В то же время в конструкции кабины машиниста предусматриваются дополнительные элементы, которые препятствуют распространению пластических деформаций перед окончательным исчерпанием ресурсов системы энергопоглощения локомотива и обеспечивают возможность выхода из кабины и входа в нее в случаях даже самых тяжелых столкновений (например, патент GB 2411633).

Двухуровневая система пассивной защиты электровозов поезда TER 2N NG [7] заключается в плотном сопряжении двух рамных конструкций, одна из которых работает при столкновении с железнодорожным подвижным составом, а другая — при столкновении с грузовым автомобилем, имеющим высокий центр тяжести. Аналогичным образом организована пассивная защита нового электропоезда серии 422 для железных дорог Германии. К лобовым частям рам кузовов концевых вагонов на высоте буферов прикреплены по два энергопоглощающих элемента, еще два таких элемента меньшей мощности находятся под лобовыми окнами. В автосцепки также интегрированы деформируемые поглощающие элементы. Рамы лобовых стенок кузовов и энергопоглощающие элементы выполнены из стали, а сминаемые зоны этих элементов — из алюминиевых пластин увеличенной толщины. Длина деформируемой зоны кузова составляет около 1100 мм при поглощении энергии продольного соударения, равной 2,65 МДж [8].

Образцом обеспечения удовлетворительных противоударных свойств подвижного состава многоцелевого назначения стали кузова локомотивов семейства TRAXX [1, 9, 10], которые разработаны железными дорогами Германии совместно с компанией Bombardier Transportation. Локомотивы семейства TRAXX реализуют новую концепцию сопротивляемости локомотивов разрушению при столкновениях, в соответствии с которой сминаемые при аварийных ударах элементы (патенты GB2411630, GB2411631, GB2411632, GB2411633) включены в существующую силовую схему каркаса кабины машиниста и рамы локомотива. Другими словами, нормально функционирующие структурные части локомотива в случае столкновения должны деформироваться заданным образом. Новый локомотив имеет высокую степень конструкторской и производственно-технологической оптимизации, в результате которой изменения конструкции локомотива не привели к увеличению его массы, длины и общей стоимости изготовления. Впервые кузов одинакового

исполнения использован для грузовых и пассажирских электровозов, в том числе двух- и четырехсистемных. Предполагается применение этой платформы для всех будущих локомотивов семейства TRAXX компании Bombardier Transportation.

При аварийном столкновении такого локомотива с препятствием поглощение кинетической энергии удара осуществляется в результате прогрессирующего контролируемого деформирования трех ступеней защиты, которые представляют собой:

- боковые буфера с эластомерными пружинящими элементами для эксплуатационных режимов нагружения и маневровых соударений. При аварийном столкновении такие буфера позволяют обеспечить энергопоглощение около 0,06 МДж на один конец локомотива;

- крепящиеся на болтах снаружи перед буферным брусом сминаемые элементы EST DUPLEX G1.A1, состоящие из буфера G1 и блока A1 – сминаемой буферной консоли. Имея длину 1100 мм и массу 280 кг, элементы EST DUPLEX G1.A1 позволяют обеспечить энергопоглощение около 1,7 МДж на один конец локомотива при столкновении с другой единицей подвижного состава;

- деформируемые зоны, расположенные в передней части кабины.

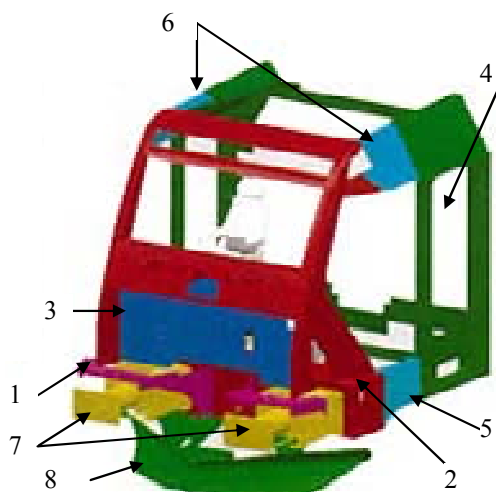


Рис. 1

Для локомотивов семейства TRAXX разработан ряд конструкторских решений (рис. 1), связанных с обеспечением их пассивной защиты при столкновениях: противоподъемные устройства на торцах локомотива, которые выдерживают вертикальные нагрузки до 150 кН (1); массивное фронтальное защитное соединение, интегрированное в структуру кабины машиниста (2); антипроникающая стенка перед пультом управления для защиты от острых обломков (3); зона безопасности для выживания локомотивной бригады в задней части кабины (минимальная длина 750 мм) (4); деформируемые при аварии части рамы (5); деформируемые при аварии части каркаса (6); буфера EST DUPLEX G1.A1 (7); комбинированные снего- и рельсоочистители (8), которые могут контролируемо деформироваться и дополнительно поглощать энергию удара.

Решение проблемы пассивной защиты локомотивов, предназначенных для скоростного движения на железных дорогах колеи 1520 мм, предполагает разработку принципиально новых конструкций экипажей. Специфика их определяется наличием:

- ударно-тяговых приборов, которые при аварийном столкновении не препятствуют деформированию средств пассивной защиты;
- противоподъемных устройств, которые при столкновениях защищают экипажи от наползания друг на друга, обеспечивая их взаимодействие только в продольном направлении;
- усиленной зоны безопасности для спасения людей, ускорения в которой не превышают допустимого уровня 5g;
- жертвенных зон кузова и деформируемых элементов рамы, предназначенных для поглощения кинетической энергии удара.

В результате анализа существующих технических решений по пассивной защите локомотива определены основные требования к конструкциям жертвенных элементов:

- высокая способность поглощения энергии единицей массы;
- график деформирования соответствует кривой, имеющей практически постоянный участок, характеризующий поведение конструкции при разрушении;
- нечувствительность к небольшим возмущениям, к разбросу и к скошенному удару;
- стабильность и прогнозируемость поведения в эксплуатации и в аварийной ситуации;
- низкая стоимость;
- отсутствие необходимости в обслуживании;
- простота замены отслужившего элемента.

В настоящее время в качестве жертвенных конструкций используются: деформируемые балочные конструкции; сотовые элементы; сминаемые полые профили из гофрированных металлических листов; коробчатые конструкции с наполнителем или без, дополненные инициаторами деформации; продавливаемые трубчатые структуры; стержневые перфорированные конструкции; устройства, содержащие срезаемые при ударе детали; конструкции, содержащие набор стержней разной длины, которые растягиваются и последовательно обрываются при аварийном ударе.

Большое значение при разработке локомотивов нового поколения с учетом требований пассивной безопасности имеет применение новых материалов и современных технологий, которые позволяют изготавливать более легкий и в то же время дешевый экипаж. В этом смысле перспективу использования имеют, например, высокопрочные нержавеющие стали, алюминиевые сплавы и полимеры, армированные стекловолокном. В качестве новых облегченных энергопоглощающих материалов целесообразно использовать металлическую (алюминиевую) пену либо сочетания алюминиевых конструкций со вспененными материалами, а также композитные синтетические материалы, полимерные сотовые структуры (сотопласты) и усиленные волокнами синтетические материалы.

Разработана концепция пассивной защиты локомотива, суть которой состоит в том, что торцевые части локомотива выполнены с возможностью контролируемого деформирования при аварийном столкновении (рис. 2).

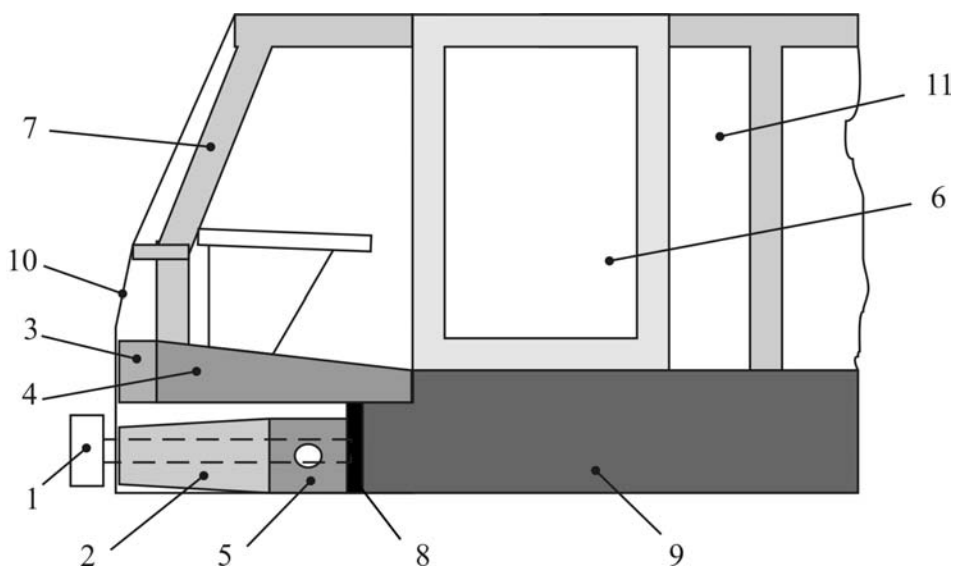


Рис. 2

В передней части рамы локомотива располагается срезаемая при сверхнормативном ударе автосцепка (1), специальные энергопоглощающие элементы (2) и (5), расположенные перед буферным брусом (8) и рамой (9). Конструкция кабины локомотива включает деформируемую переднюю часть и расположенную за ней усиленную зону безопасности (6), предназначенную для размещения локомотивной бригады. За зоной безопасности, в которой пластические деформации при ударе должны быть минимальны, расположен тамбур (11) с входной дверью, через которую осуществляется эвакуация локомотивной бригады при аварии. В передней деформируемой части кабины между обшивкой (10) и каркасом устанавливаются энергопоглощающие элементы (3), которые крепятся на деформируемых упорах (4), опирающихся на раму (9). Дуги (7), образующие переднюю часть каркаса кабины, должны обеспечивать прогнозируемую деформацию и энергопоглощение при столкновении с препятствием, имеющим высокий центр тяжести.

При аварийном столкновении в результате согласованной работы энергопоглощающих элементов, расположенных как на раме локомотива, так и на кабине машиниста, можно погасить до 4 МДж кинетической энергии удара на перемещении  $\approx 1$  м без превышения допустимого предела продольных ускорений в зоне нахождения человека – 5g.

1. Совершенствование локомотивов в соответствии с требованиями к безопасности при столкновениях // Железные дороги мира. – 2007. – № 8. – С. 57 – 63.
2. Crashworthiness standards may block locomotive approvals. – Режим доступа [http://www.railwaygazette.com/features\\_view/article/2008/03/8256/crashworthiness\\_standards\\_may\\_block\\_locomotive\\_approvals.html/](http://www.railwaygazette.com/features_view/article/2008/03/8256/crashworthiness_standards_may_block_locomotive_approvals.html/)
3. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года // Транспортная безопасность и технологии. – 2008. – № 4. – С. 25 – 37. – Режим доступа к журн. <http://www.transafety.ru/>
4. Семечкин А. Е. Реализуя стратегические направления научно-технического развития железнодорожного транспорта / А. Е. Семечкин // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 4. – С. 2 – 5.

5. *Андреев А. А.* Развитие мощностей для производства нового подвижного состава / *А. А. Андреев* // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 11. – С. 49 – 52.
6. *Хацкелевич А. А.* Особенности реформирования нормативной базы обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте / *А. А. Хацкелевич* // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 4. – С. 78 – 83.
7. Региональные электропоезда из двухэтажных вагонов // Железные дороги мира. – 2005. – № 2. – С. 24 – 32.
8. Новый электропоезд для железных дорог Германии // Железные дороги мира. – 2008. – № 9. – С. 48 – 55.
9. Конструкция кузова локомотивов семейства TRAXX // Железные дороги мира. – 2006. – № 3. – С. 26 – 29.
10. TRAXX F140 AC2 locomotives // Railvolution. – 2005. – V. 5. – № 1/05. – P. 38 – 45.

Институт технической механики  
НАН Украины и НКА Украины,  
Днепропетровск

Получено 30.04.09,  
в окончательном варианте 05.05.09.