

Канд. техн. наук С. Л. ГОЛЬДИН

Зарубежный опыт стандартизации для обеспечения безопасности пассажиров при авариях поездов

Железнодорожная статистика [1] свидетельствует, что около 7% случаев со смертельным исходом и 57% с тяжелыми телесными повреждениями являются следствием травм, наносимых пассажирам внутренним оборудованием пассажирского подвижного состава, в том числе сорванным с креплений, в результате столкновений или крушений подвижного состава. Поэтому, чтобы обеспечить должную защиту пассажирам и поезвному персоналу (в том числе машинисту), необходимы законодательно установленные (обязательные) требования к конструкции пассажирского подвижного состава, обеспечивающие его безопасность для пассажиров при столкновениях и крушениях.

Европейский и североамериканский опыт создания и применения нормативных документов, устанавливающих требования безопасности при крушениях и столкновениях, анализирует С. Л. Гольдин, имеющий длительный опыт работы в области сертификации и стандартизации железнодорожной техники во ВНИИЖТе, Министерстве транспорта РФ и компании «Бомбардье Транспортейшн Рус».

Развитие высокоскоростного движения наряду с повышением мобильности населения и улучшением комфортности поездки принесло с собой и повышенные риски для жизни и здоровья пассажиров в случае аварий. За первые годы эксплуатации высокоскоростные поезда зарекомендовали себя отлично. Но ужасная трагедия 3 июня 1998 г. в Эшеде (Германия), когда высокоскоростной поезд ICE 1 на скорости около 200 км/ч в результате технического дефекта колеса врезался в опору бетонного моста и погиб 101 пассажир, существенно омра-

чила ситуацию. Следователям удалось установить причину крушения уже через 48 ч после трагедии, что позволило снизить паническое состояние у пассажиров. После трагедии был отставлен от эксплуатации для замены колес весь парк высокоскоростных поездов железных дорог Германии. В результате расследования были выявлены не только грубые конструкторские ошибки, но и, что более существенно, несовершенство технических требований (норм) к пассажирскому подвижному составу, в первую очередь к скоростному и высокоскоростному.

И западноевропейские, и американские ведомства регулирования на железнодорожном транспорте приложили значительные усилия для ускоренного обновления требований к безопасности пассажирского подвижного состава. В США в 1998 г. была создана рабочая группа по пересмотру стандартов безопасности подвижного состава при столкновениях и крушениях. Уже 12 мая 1999 г. Федеральная железнодорожная администрация (FRA) Министерства транспорта США выпустила обновленный Кодекс федерального регулирования (49CFR), на основании которого Американская ассоциация общественного транспорта (APTA) разработала и опубликовала в январе 2000 г. новые стандарты, устанавливающие требования как к конструкции кузова подвижного состава, так и к креплению оборудования в его салоне. В Европе так же активно занимались пересмотром аналогичных стандартов, и в 2000 г., спустя всего два года после крушения в Эшеде, Европейский союз ввел европейские нормы, устанавливающие требования к прочности и устойчивости конструкции кузовов подвижного состава, а в 2008 г. принял специальные европейские нормы, определяющие безопасность конструкции подвижного состава при столкновениях и крушениях.

Обзор норм и стандартов, устанавливающих требования безопасности подвижного состава при авариях

Известно, что травматизм пассажиров при столкновениях и крушениях в основном связан с такими факторами, как:

- уменьшение объема салона ниже объема безопасного жизненного пространства вследствие значительных деформаций;
- разрушение элементов интерьера салона, в том числе из-за разрушения элементов их крепления.

Это определяет основные направления стандартизации, призванной обеспечить снижение риска травматизма пассажиров путем установления норм на конструкции подвижного состава.

Данный раздел включает краткий обзор действующих в США федеральных норм для пассажирского подвижного состава, стандартов промышленности и сводов правил (recommended practice), европейских стандартов, устанавливающих требования безопасности пассажирского железнодорожного оборудования при столкновениях (крушениях).

Стандарты безопасности при авариях (crashworthiness standards) включают требования по устойчивости и прочности конструкции подвижного состава к ударам и способности конструкции обеспечить безопасность пассажиров при авариях (столкновениях, крушениях). По философии подхода они подразделяются на две группы: стандарты проектирования, содержащие конструктивные нормы, и так называемые эксплуатационные стандарты. Иногда такие стандарты безопасности содержат требования, сформированные на основе обоих подходов.

Стандарты проектирования предписывают требования, которые необязательно непосредственно связаны с условиями, ожидаемыми в столкновении. Например, текущие стандарты промышленности для внутреннего оборудования требуют, чтобы узлы присоединения были в состоянии выдерживать продольную статическую нагрузку, равную восьмикратному весу оборудования. Нагрузка, выдерживаемая узлами присоединения во время столкновения (крушения), является динамической и связана как с параметрами жесткости (устойчивости), так и с временными характеристиками замедления. Соответствие со стандартами проектирования обычно может оцениваться или классической методикой структур-

ного анализа замкнутых систем, или путем неразрушающих испытаний.

В эксплуатационных стандартах, по существу, устанавливаются не требования к конструкции, а нормативные значения внешних воздействующих факторов, практически идентичных условиям, ожидаемым при реальном столкновении (крушении). Кроме того, действующие эксплуатационные стандарты промышленности пассажирского железнодорожного транспорта устанавливают предельные значения риска нанесения увечий пассажиру при авариях. Эти нормы требуют, чтобы критерии ранений, наносимых человеку, остались в пределах уровней, обеспечивающих его выживание, при воздействии на внутреннее оборудование салона вагона и испытательные манекены силы инерции при замедлении подвижного состава с величиной, соответствующей (или практически соответствующей) реальному значению при аварии.

Демонстрация соответствия эксплуатационным стандартам требует, как правило, либо детального компьютерного моделирования, либо испытаний с разрушением подвижного состава. Основное преимущество эксплуатационных стандартов заключается в том, что при их использовании необходимо меньше стадий доводки (итераций) проекта или детализации оборудования и что требуемые характеристики подвижного состава и его компонентов, включая в первую очередь внутрисалонное оборудование, ближе к характеристикам, обеспечивающим минимально необходимый уровень безопасности пассажиров при аварии. Недостаток эксплуатационных стандартов состоит в том, что в любом случае начальный вариант конструкции должен быть рассчитан (и смоделирован) не на их основе, а на основе стандартов проектирования.

Компьютерное моделирование позволяет точно имитировать механические изменения конструкции при столкновениях и крушении-

ях, тем самым определяя стойкость оборудования подвижного состава в таких ситуациях, и минимизировать потребность в относительно дорогих разрушительных испытаниях. Такой инструментальный подход позволяет также расширить применение данных, полученных при проведении тестов с разрушением конструкции, путем экстраполяции результатов натуральных испытаний для более широкого диапазона условий. Будучи относительно недорогими и точными, эти инструменты позволяют выполнять доработку и принятие эксплуатационных стандартов при авариях для железнодорожного транспорта.

Стандарты проектирования

Стандарты проектирования устанавливают требования к прочности и устойчивости конструкции при воздействии статической нагрузки, т. е. конструкция должна выдержать нормированную статическую нагрузку без остаточной деформации или без повреждений. Соответствие конструкции стандартам проектирования обычно доказывается применением структурных методов анализа: так называемого анализа упругой нити, анализа упругого изгиба и анализа предельного нагруженного состояния, а также метода конечных элементов. Геометрически сложные структуры, которые трудно анализировать классическими методами анализа, могут быть испытаны без разрушения, чтобы продемонстрировать соответствие стандарту.

К стандартам, содержащим нормы проектирования, следует отнести европейские EN 12663:2000, EN 15227:2008-07 и 49CFR (CFR — Кодекс федерального регулирования США, далее — федеральная норма), часть 238¹. Стандарты содержат

¹Структурно CFR является кодифицированной нормой, т. е. содержит весь свод норм, регулирующих определенный объект права. Кодекс 49CFR регулирует железнодорожный транспорт.

Таблица 1

Конструктивные нормы компрессионных усилий

Категория пассажирского подвижного состава/нормативный документ	Компрессионное усилие, кН		
	на уровне буферов/автосцепки	ниже уровня буферов/автосцепки	диагонально на уровне буферов
Р I (пассажирские вагоны и локомотивы)/EN 12663	2000	Не регламентируется	500
Пассажирские вагоны и локомотивы/49CFR	3560	Не регламентируется	Не регламентируется

Примечание. Данная норма может быть ниже для ненаселенных частей кузова подвижного состава, если подвижной состав оборудован энергопоглощающими устройствами, интегрированными в конструкцию кузова, или если для населенной части кузова прочность не ниже 3560 кН.

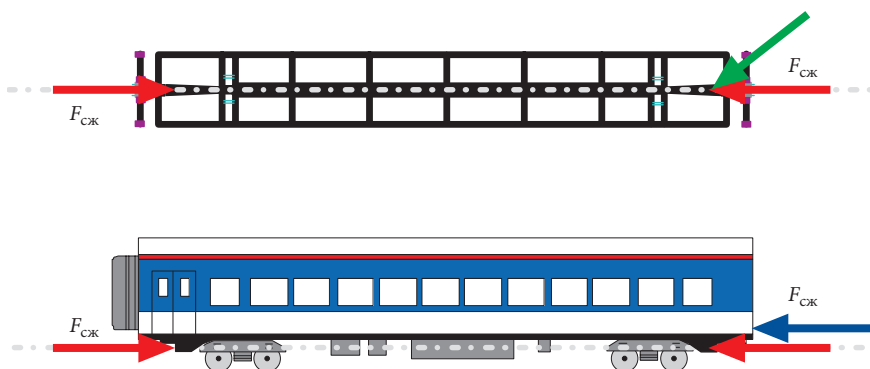


Рис. 1. Типовое приложение сжимающих усилий к кузову подвижного состава

требования как к конструкции кузова, так и к креплению интерьерного оборудования.

Важнейшим параметром, определяющим безопасность конструкции кузова подвижного состава, является предельное допустимое усилие сжатия $F_{сж}$ (компрессионная нагрузка). Приложение данной нагрузки к кузову подвижного состава регламентируется:

- на уровне буферов/автосцепки (рама кузова);
- ниже уровня буферов/автосцепки;
- диагонально на уровне буферов.

Рис. 1 схематично иллюстрирует приложение такой нагрузки к одноэтажному пассажирскому вагону.

Очевидно, что данная характеристика конструкции кузова нормируется для того, чтобы обеспечить минимально необходимую прочность населенной части кузова (салона) при столкновениях (лобовых,

касательных) подвижного состава с объектами, находящимися на пути его движения (железнодорожный подвижной состав, автомобили и т. п.).

В табл. 1 приведены конструктивные требования к прочности кузова подвижного состава на сжатие. Необходимо отметить, что стандартом EN 12663 данная нагрузка регламентируется в зависимости от категории рельсового пассажирского подвижного состава (всего пять категорий), при этом вагоны и пасса-

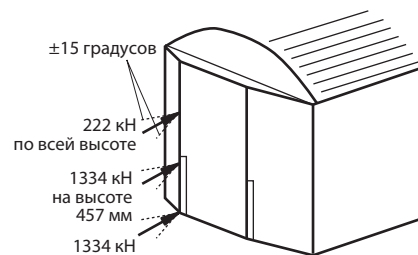


Рис. 2. Нормированные нагрузки на «жертвенные» конструкции кузова

жирские локомотивы включены в категорию Р I, а федеральной нормой 49CFR предусматривается единый норматив для пассажирского подвижного состава любого типа.

Дополнительной нормой стандарта 49CFR к конструкции кузова является требование о наличии у него пассивной крэш-системы. Для пассажирского вагона это обеспечивается наличием жертвенных (сминаемых при столкновении) зон. Например, прочность жертвенной зоны кузова пассажирского вагона должна обеспечиваться при приложении соответствующих нагрузок (рис. 2). При этом суммарное энергопоглощение жертвенных зон кузова вагона должно быть не менее 5 МДж.

Соответствие установленным нормам прочности на сжатие может быть продемонстрировано как посредством неразрушающих испытаний, так и расчетом методом конечных элементов.

Другим параметром, определяющим устойчивость конструкции кузова, является прочность его боковой конструкции. Это требование существенно для обеспечения безопасности пассажиров и обслуживающего персонала в случае боковых (косых) столкновений или переворачивания подвижного состава после схода с рельсов. При традиционной конструкции кузова эта прочность обеспечивается как собственной прочностью лонжеронов, так и прочностью соединения лонжеронов с рамой и крышей. Федеральной нормой 49CFR устанавливаются требования к пределу текучести материалов, используемых для боковой конструкции пассажирского подвижного состава. Допустимое напряжение в элементах боковой конструкции должно быть меньше половины предела текучести используемого материала и половины критического напряжения при продольном изгибе, при воздействии на боковую конструкцию сжимающей силы, равной 178 кН (на уровне порогов боковых дверей) и 31 кН

(на уровне окна). Нагрузки этих видов должны прикладываться к боковой поверхности каждые 2,4 м по длине кузова. При этом норма прочности боковой конструкции, обеспечивающая безопасность пассажиров при переворачивании, устанавливается путем введения понятия «безопасное жизненное пространство», т. е. объема салона, остающегося после деформации кузова и достаточного для выживания пассажиров. Особое значение придается прочности угловых вертикальных конструкций кузова. На рис. 3 приведена схема приложения нагрузок к угловым конструкциям кузова пассажирского вагона.

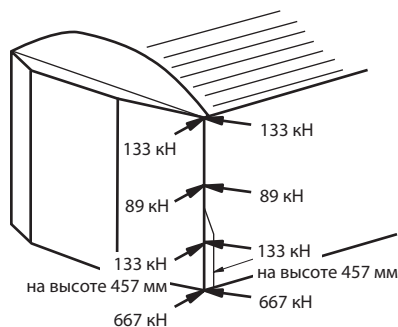


Рис. 3. Нормированные нагрузки на угловые конструкции кузова

авариях (столкновениях, крушениях), то, по существу, они являются методами испытаний подвижного состава на безопасность пассажиров. Для подтверждения соответствия этим стандартам требуется применение натуральных испытаний с разрушением испытываемых образцов и/или детализированного численного моделирования. Применение этих методов позволяет оценить процессы деформации конструкции подвижного состава при заданных (нормированных) внешних

воздействиях, оценить поведение всего поезда в процессе аварии², а также реакцию пассажиров, находящихся на своих штатных местах. Эти исследуемые процессы проиллюстрированы на рис. 4 [2].

Основной задачей эксперимента по деформации конструкции подвижного состава, проводимого при нормированных эксплуатационных стандартах внешних факторах (далее — нормированного испытания), является определение так называемой крэш-характеристики (сила — деформация) проектируемой конструкции подвижного состава, а также определение формы деформации данной конструкции (характер изменения ее геометрических размеров).

Исследование динамики пассажиров в процессе нормированного испытания позволяет оценить силы и ускорения, действующие на пассажира, траектории перемещения

Как уже было отмечено, безопасность пассажиров во время аварий подвижного состава зависит не только от прочности конструкции кузова, но и от прочности оборудования интерьера пассажирского салона (кресла, столики и т. п.) и прочности его крепления к кузову.

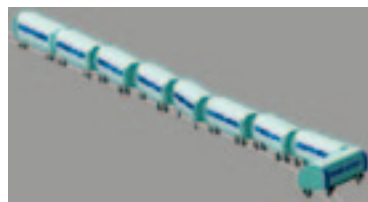
Оба стандарта, EN 12663 и 49CFR, устанавливают минимальные нормы к прочности крепления элементов интерьера пассажирского салона. Применение такого подхода является традиционным при установлении показателей безопасности и позволяет обеспечить минимально допустимый риск травмирования пассажиров. Так как прочность крепления должна в динамических режимах выдерживать инерционную массу закрепляемого оборудования, то нормируется величина максимального ускорения, возникающая при авариях подвижного состава. В табл. 2 приведены нормировочные коэффициенты ускорений, которые устанавливаются этими стандартами.

Таблица 2

Величины ускорений, применяемые при расчетах прочности креплений элементов интерьера пассажирского подвижного состава

Стандарт	Величина ускорения по осям		
	X	Y	Z
EN 12663:2000	±5g	±1g	(1±C)g*
49CFR	±8g	±4g	±4g

* C = 2 на конце кузова и C = 0,5 в середине кузова.



Динамика поезда при аварии

Деформация кузова



Динамика пассажиров



Рис. 4. Процессы, исследуемые в крэш-испытаниях

Эксплуатационные стандарты

Так как в эксплуатационных стандартах нормируются как внешние воздействующие факторы, например импульс силы, так и критерии выживаемости пассажиров при

(падения) пассажиров при различных вариантах планировки салона вагона (рис. 5) и различных вариантах конструкции и крепления пассажирских сидений, чтобы в конечном счете ответить на основной вопрос: какая степень повреждения пассажиров наиболее вероятна при заданном сочетании факторов (внешнее воздействие, планировка).

Типичными эксплуатационными стандартами являются части 233 и 572 49CFR. В них нормируются внешние воздействия на подвижной состав и его внутреннее оборудование (сиденья, полки, вертикальные поручни и т. п.) при столкновениях

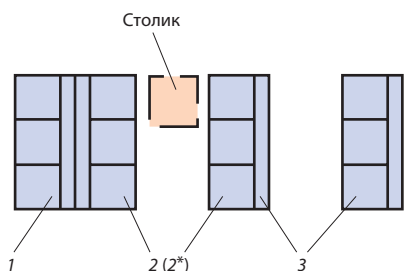


Рис. 5. Традиционные варианты компоновки кресел в пассажирском салоне: 1 — спинка к спинке; 2, 2* — лицом к лицу с промежуточным столиком или без него; 3 — ряд за рядом

и максимальные нормы механических воздействий на пассажира, сидящего в салоне вагона.

Так, согласно требованиям [3] каждое сиденье пассажирского вагона должно быть безопасно прикреплено к кузову вагона. Данное крепление должно выдерживать одновременное воздействие продольной инерционной силы величиной 8g, приложенной к кузову подвижного состава (массе сиденья), и нагрузки, возникающей при воздействии на вагон треугольного креш-импульса с установленными параметрами (рис. 6, а) и передаваемой на спинку сиденья сидевшим сзади пассажиром, эквивалентным 95-му перцентилю (массой 80 кг).

Таким образом, на крепления воздействует не только сила инерции собственно сиденья, но и сила инерции объекта массой 80 кг, что суммарно соответствует воздействию, приблизительно в 1,6 раза более высокому по сравнению со значением из методики, рекомендуемой европейским стандартом.

Для того чтобы конструкция подвижного состава, включая элемен-

ты интерьера салона, была одобрена, необходимо, чтобы при данных условиях выполнения креш-испытания не были превышены нормы, установленные «эксплуатационным» стандартом 49CFR, ч. 571 и определяющие выживаемость пассажира (табл. 3).

Важнейшим элементом эксплуатационных стандартов EN 15277 и 49CFR 233 являются сценарии аварийных ситуаций, в которых должна быть оценена конструкция подвижного состава и уровень безопасности пассажиров. Сценариями нормируются скорость столкновения, вид и масса препятствия.

Таким образом, отличие стандартов проектирования от эксплуатационных стандартов состоит в том, что первые устанавливают требования к расчету конструкции, которые необязательно непосредственно связаны с условиями, ожидаемыми в столкновении, а вторые устанавливают сценарий и параметры аварийной ситуации, в которой конструкция должна обеспечить минимальный риск для жизни и здоровья пассажиров.

Роль научных исследований в разработке эксплуатационных стандартов

Для того чтобы установленные стандартами требования к внешним воздействующим факторам при проведении испытаний конструкции подвижного состава соответствовали реальным эксплуатационным условиям при авариях подвижного состава, потребовалось выполнить большой объем натуральных креш-испытаний.

Одно из первых натуральных креш-испытаний железнодорожного подвижного состава в Европе было проведено более 20 лет назад на испытательном полигоне MIRA³ (Be-

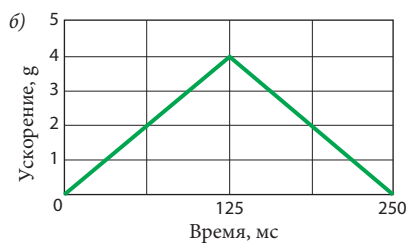
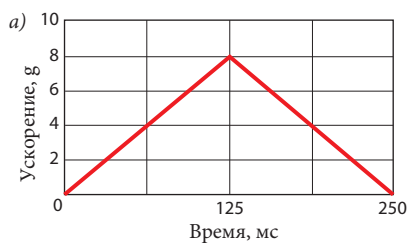


Рис. 6. Нормированные креш-импульсы: а — продольный; б — вертикальный/поперечный

Таблица 3

Допустимые уровни нагрузок, определяющих степень повреждения пассажира, соответствующего 50-му перцентилю

Критерий повреждения	Предельное значение
Повреждения шеи (НИС)*	1000
Ускорение на груди	60 g в течение 3 мс
Продольная нагрузка на бедро	1020 кг

*НИС определяется по формуле

$$НИС = \left\{ (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right] \right\}_{\max}^{2.5},$$

где t_1, t_2 — любые два момента времени в течение приложения нагрузки, с; $a(t)$ — результирующее ускорение головы, g.

³В 2008 г. MIRA была номинирована журналом Test Technology International как лучшая европейская организация по креш-испытаниям.

ликобритания). Испытания проводили с целью разработки эксплуатационного стандарта, явившегося основой европейской нормы EN 15227. Пассажирский вагон массой 32 т, движимый дизель-поездом со скоростью 22 км/ч, был «надвинут» на заторможенный локомотив массой 82 т. Выделившаяся при столкновении энергия около 1,5 МДж была поглощена деформациями подвижного состава. При этом в салоне вагона находились специализированные манекены — антропометрические измерительные устройства ATD (anthropometric test device) 50-го и 95-го перцентилей массой 78,4 кг. Акселерометрами регистрировалось замедление кузова вагона (в трех плоскостях), при этом на видеокамеры регистрировали динамику ATD и оборудования интерьера салона. При этом, что внешние повреждения вагона и локомотива не были значительными, повреждения, нанесенные ATD, были катастрофическими. Манекены, сидевшие спиной по направлению движения, получили переломы в области шейных позвонков; все манекены, сидевшие по ходу движения, были выброшены со своих мест и получили повреждения в области головы, переломы конечностей и повреждения в области груди. Полученные результаты с очевидностью продемонстрировали необходимые направления исследований с целью установления норм безопасности подвижного состава.

В 1989 г. Федеральная железнодорожная администрация в ответ на расширение скоростных перевозок в США инициировала разработку программы исследования аспектов безопасности в системах скоростного железнодорожного движения. Очевидно, что безопасность пассажиров и окружающей среды при столкновениях и крушениях железнодорожного состава определяется балансом двух компонентов: способности железно-

рожной системы предотвратить эти аварии и способности подвижного состава выдержать нагрузки, возникающие в результате этих аварий. В качестве базового был принят подход, основанный на оценке рисков и возволивший разделить риски между этими компонентами [4]. Последующие исследования альтернативных подходов к оценке способности железнодорожной системы противостоять авариям и исследования в области обеспечения безопасности пассажиров путем применения необходимых конструктивных решений явились базой создания эксплуатационных стандартов. Исследованиями были охвачены как обычный подвижной состав (до 140 км/ч), так и скоростной и высокоскоростной.

Объем испытаний включал различные варианты натуральных краш-испытаний [5] и натурные испытания на сжатие [6].

В результате многолетних исследований были созданы стандарты EN 15277 и 49CFR 233. Кроме того, стало совершенно очевидным, что только за счет повышения прочности кузова проблему безопасности не решить, так как вся непогашенная энергия столкновения будет передана на пассажира и оборудование салона.

Важнейшим результатом этих исследований стала философия пассивной безопасности, так называемой системы управления аварией (crash management system), требования к которой также внесены в эксплуатационные стандарты.

Данная система включает в себя следующие элементы:

- энергопоглощающие устройства, устанавливаемые на лобовой части локомотивов и головных вагонов моторвагонного подвижного состава;
- конструкцию усиления жизненного пространства кабины машиниста;
- конструкцию, предотвращающую «наползание» (anticlimbing

device) при столкновении локомотивами и/или головными вагонами моторвагонного подвижного состава;

- энергопоглощающие (жертвенные) зоны пассажирских вагонов.

На рис. 7 представлен пример конструкции системы управления аварией головного вагона моторвагонного подвижного состава.

Оценка соответствия стандартам безопасности при авариях

Как уже отмечалось, соответствие стандартам проектирования может быть подтверждено относительно простыми расчетами или неразрушающими испытаниями, в то время как соответствие эксплуатационным стандартам может быть продемонстрировано проведением краш-испытаний, компьютерным моделированием или комбинацией этих вариантов. Очевидно, что краш-испытания являются весьма дорогостоящим экспериментом и его применение целесообразно для первоначальной оценки конструкции кузова подвижного состава и калибровки модели.

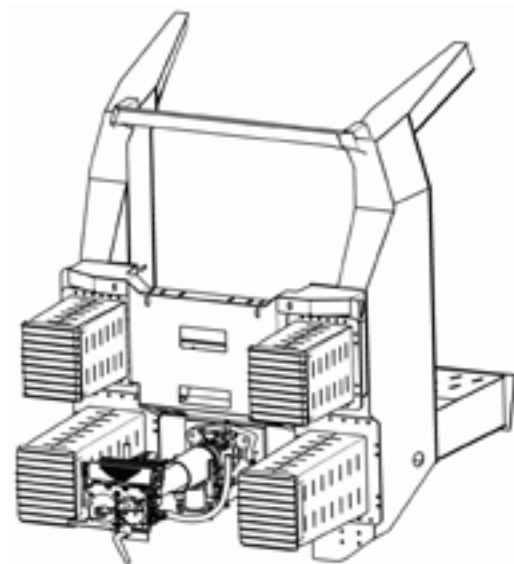


Рис. 7. Конструкция системы управления аварией головного вагона



Рис. 8. Стенд для проведения динамических крэш-испытаний кресел

Оценку прочности креплений оборудования и его способности оказывать минимальные повреждения пассажирам и обслуживающему персоналу также возможно выполнять в объеме крэш-испытаний подвижного состава, однако оптимальным такой подход назвать сложно, тем более что крэш-испытания опытных образцов подвижного состава проводят, как правило, один раз, а доводка оборудования салона может потребовать многократных испытаний.

Кроме того, компьютерное моделирование в данном случае может дать существенные отклонения в силу того, что одним из объектов испытаний является АТД. Поэтому проверку соответствия оборудования салонов осуществляют на специализированных стендах, имитирующих нормированные внешние воздействия.

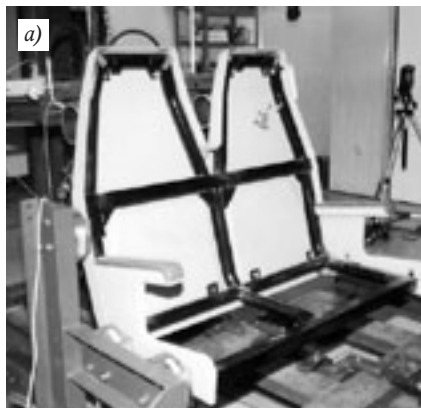


Рис. 9. Каркасные кресла:
а — междугородных поездов Amtrak; б — европейских пригородных поездов



На рис. 8 показана рама испытательного стенда со смонтированными на ней креслами, закрепленными штатными креплениями. К раме могут быть приложены импульсные воздействия с параметрами импульсов, установленными 49CFR (см. рис. 6).

Одним из центров, имеющих испытательное оборудование данного типа, является Национальный центр по исследованию железнодорожных систем (Кембридж, США). В течение 1998 – 2003 гг. здесь были испытаны основные компоновочные варианты расположения сидений в салоне (см. рис. 5), используемые в американском и европейском пассажирском подвижном составе [7, 8]. В результате испытаний были получены новые данные по величинам реальных нагрузок и ускорений, действующих на пассажира при нормированном внешнем воздействии, которые были использованы при корректировке эксплуатационных стандартов.

Для данных исследований использовали кресла поездов компании Amtrak (рис. 9, а) и кресла пригородных европейских поездов (рис. 9, б), соответственно были применены традиционные для этих поездов компоновки (см. рис. 5, варианты 3 и 1–2).

Для анализа нагрузок, действующих на пассажира, использовались АТД 50-го и 95-го перцентилей, которые были оснащены необходимым комплектом датчиков (рис. 10) для регистрации уровней нагрузок (см. табл. 3), возникающих в течение имитационного режима.

Испытываемое оборудование оценивали по следующим критериям:

- все компоненты сиденья должны оставаться прикрепленными к креслу;
- крепление кресла к полу не должно быть разрушено;
- пассажиры должны быть локализованы в пространстве между двумя рядами кресел;

- нагрузки, воздействующие на пассажиров во время имитируемого столкновения, должны оставаться в пределах, совместимых с жизнью.

В результате проведения испытаний установлено следующее:

- при расположении пассажиров в соответствии с вариантом 3 на рис. 5 (характерным для междугородных поездов) пассажиры были всегда локализованы в пространстве между рядами, при этом серьезным повреждениям подвергались нижние конечности, а по другим критериям (см. табл. 3) нагрузки на АТД не превышались;

- при расположении пассажиров в соответствии с вариантами 1, 2, 2* (см. рис. 5), характерными для пригородных поездов, пассажиры приблизительно в 70% случаев оказывались вне рядов кресел (рис. 11), при этом всегда превышались критерии допустимых нагрузок на АТД.

Рекомендации, сделанные по итогам испытаний, включали в себя предложения по изменению компоновки кузова (увеличение энергоемкости жертвенных зон), конструкции сидений и их креплений, а также по изменению планировки — например, для пригородных поездов было предложено уменьшить расстояние между рядами кресел.

Заключение

Высокоскоростные перевозки не только способствовали росту мобильности населения и повышению уровня комфорта, но и принесли с собой новые риски в сфере безопасности пассажирского железнодорожного транспорта. Необходимость адекватного ответа на эти риски способствовала как разработке новых систем управления безопасностью, так и проведению фундаментальных исследований в данной области; важнейшей характеристикой пассажирского подвижного состава стала его способность

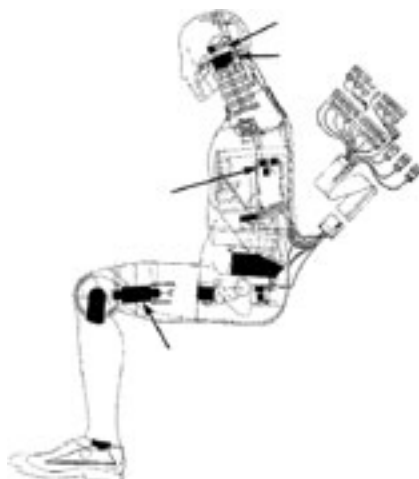


Рис. 10. Места установки датчиков-акселерометров на АТД

обеспечить выживаемость пассажиров в авариях.

Результатом масштабных научно-исследовательских работ в США, Великобритании, Германии и Франции явилась разработка стандартов безопасности при авариях. Внедрение таких стандартов в инженерную практику при проектировании подвижного состава и постоянные работы по их совершенствованию, включая постоянный цикл испытаний, существенно образом повысили безопасность пассажиров, сохранив при этом баланс между безопасностью, стоимостью подвижного состава и комфортом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Reilly M. I., Jines R. H., Tanner A. E. Rail Safety/Equipment Crashworthiness, US Department of Transportation, Federal Railroad Administration, FRA/ORD-77/73.
2. Tyrell D. Rail Passenger Equipment Accidents and the Evaluation of Crashworthiness Strategies, Institute of Mechanical Engineers, May 2001.
3. 49CFR238.233 Interior fittings and surfaces.
4. Anderson R. Railroad Accident rates for use in rail transportation risk analysis. Transportation Research Record — Journal of the Transportation Research Board 1863, p. 88 — 98.
5. Tyrell D., Perlman B. An overview of passenger equipment full scale impact tests results to date, World Congress on Railway Research, Cologne, Germany, November 2001.
6. Carolan M., Perlman B. A., Tyrell D.



Рис. 11. Испытания компоновки и сидений пригородных поездов

Evaluation of Occupant Volume Strength in Conventional Passenger Railroad Equipment, American Society of Mechanical Engineers, Paper No. RTDF2008-74026, September 2008.

7. VanIngen-Dunn C, Manning J. Commuter Rail Seat Testing and Analysis, Final Report, U.S. Department of Transportation, Cambridge, MA, 2000.

8. VanIngen-Dunn C. Commuter Rail Seat Testing and Analysis of Facing Seats, Final Report, U.S. Department of Transportation, Cambridge, MA, 2003.