

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЭКИПАЖЕЙ**

Рассмотрена проблема повышения безопасности пассажирских перевозок и транспортировки экологически опасных грузов. Описаны математические модели, алгоритмы и методическое обеспечение для анализа динамики железнодорожных экипажей и напряженно-деформированного состояния их элементов при эксплуатационных режимах движения и в аварийных ситуациях. Показана целесообразность оборудования экипажей средствами пассивной защиты от сверхнормативных ударных нагрузок. Предложена система компьютерной диагностики динамических характеристик ходовых частей пассажирского вагона.

The problem of upgrading the safe transportation of passengers and ecologically dangerous cargo is considered. Mathematical models, algorithms and methodic support for analyzing the railway vehicles and stressed-strained state of their elements at operational regimes of motion and in an emergency are described. The advisability of equipping the vehicles with passive protection means against superstandard impact loads is shown. The system of computer diagnostics of the coach running gears dynamic characteristics is proposed.

В настоящее время повышение безопасности перевозки пассажиров и транспортировки грузов по железным дорогам Украины является важной проблемой, обусловленной высокими скоростями движения пассажирских поездов, ориентацией нашей страны на евроинтеграцию и соответствие отечественных транспортных услуг евростандартам при отсутствии отечественной нормативной базы, регламентирующей защиту экипажей в аварийных ситуациях. Данная проблема связана с решением сложного комплекса задач, который включает как организационно-технические мероприятия, уменьшающие предпосылки возникновения аварийной ситуации, так и конструктивные, основанные на продуманном сочетании мер активной и пассивной защиты экипажей для предотвращения человеческих жертв и сокращения затрат на ликвидацию последствий возможных аварий.

Разработка научно обоснованных технических решений по обеспечению безопасности движения железнодорожных экипажей базируется на исследовании динамической нагруженности, устойчивости и напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов конструкций экипажей при эксплуатационных режимах движения и в аварийных ситуациях, вызванных сходом экипажей с рельсов, столкновением поездов или наездом поезда на преграду. Для проведения таких исследований с учетом особенностей рассматриваемых конструкций и переходных процессов в отделе динамики многомерных механических систем Института технической механики НАН Украины и НКА Украины созданы нелинейные механические аналоги, разработано методическое, математическое и программное обеспечение.

Для сохранности подвижного состава железных дорог и перевозимых грузов, уменьшения вероятности возникновения аварийных ситуаций ведущую роль играют поглощающие аппараты автосцепок, предназначенные для снижения динамических нагрузок, возникающих в процессе формирования поездов на сортировочных горках, а также при переходных режимах движения поездов, и тормозные системы. Анализ существующих и разрабатываемых конструкций поглощающих аппаратов показал, что для обеспечения высокой конкурентоспособности на рынке транспортных услуг, учитывая все разнообразие типажа, специализацию и условия эксплуатации подвижного состава, номенклатуру перевозимых грузов и требования к условиям их транспортировки, железнодорожный транспорт должен располагать ассорти-

© О. М. Маркова, Н. Е. Науменко, М. Б. Соболевская, 2008

ментом поглощающих аппаратов с широким диапазоном эксплуатационных и стоимостных характеристик.

Современные тенденции мировой практики по повышению безопасности железнодорожного движения наряду с устранением возможных причин возникновения аварий, разработкой технических требований по эксплуатации вагонов, модернизацией тормозной системы и созданием поглощающих аппаратов автосцепок направлены на создание эффективных средств пассивной защиты экипажей при аварийных столкновениях. Основная задача пассивной защиты – уменьшение возникающих при аварийном столкновении продольных сил и ускорений в результате поглощения кинетической энергии аварийного удара за счет контролируемого упругопластического деформирования и разрушения входящих в состав защитных устройств жертвенных элементов, т.е. конструкций, которые намеренно приносятся в жертву при аварийных столкновениях.

При создании перспективных конструкций подвижного состава повышенной безопасности должны быть учтены специфика эксплуатации и конструктивные особенности конкретного типа рассматриваемого железнодорожного экипажа.

Опыт эксплуатации грузового железнодорожного транспорта показывает, что значительная часть аварий происходит с вагонами-цистернами, транспортирующими экологически опасные грузы, в частности сжиженные углеводородные газы. Для большинства аварийных ситуаций характерным является пробивание днищ котла цистерны автосцепкой соседнего вагона или его длинномерным грузом в результате саморасцепления вагонов [5]. Разгерметизация котла вагона-цистерны сопровождается утечкой, возгоранием и взрывом перевозимого опасного груза и экологическим загрязнением окружающей среды. Для обеспечения безопасности железнодорожной транспортировки грузов и минимизации последствий возможных аварий, в частности связанных с разгерметизацией котлов в результате пробивания их днищ, актуальной проблемой является разработка и создание нового поколения вагонов-цистерн, оборудованных эффективными средствами защиты днищ от пробивания в аварийной ситуации. В мировой практике в качестве средств защиты днищ котлов вагонов-цистерн используются дополнительные металлические накладки (фальшднища) или торцевые щиты. Повышение эффективности защиты котлов цистерн в аварийной ситуации может быть достигнуто за счет использования в конструкциях защитных устройств специальных энергопоглощающих, в частности сотовых, элементов и рационального выбора их параметров.

Для исследования динамики, нагруженности и НДС элементов вагона-цистерны, в том числе оборудованной средствами защиты от пробивания днищ котла, при ударных воздействиях различной интенсивности с учетом возможности возникновения пластических деформаций разработана методика, дискретно-массовые и конечно-элементные математические модели [4,5,6]. Построены конечно-элементные модели, позволяющие проводить нелинейный динамический анализ упругопластического деформирования днищ котлов вагонов-цистерн с устройствами их защиты при аварийных ударах в рамках деформационной теории пластичности с учетом нелинейной зависимости между деформациями и перемещениями. Разработанные методика и математические модели предназначены для определения зон концентрации

напряжений и их максимального уровня, исследования характера деформирования наиболее нагруженных элементов конструкции с учетом остаточных деформаций, оценки уровня нагрузок и скоростей соударения цистерны с вагоном-бойком, при которых возможно появление пластических деформаций и разрушение элементов цистерны. Разработана методика выбора рациональных параметров предохранительных торцовых щитов, содержащих сотовые энергопоглощающие элементы.

Для исследования динамических характеристик сцепа вагонов, движущегося по пути произвольного очертания, разработана уточненная модель взаимодействия колесной пары и рельсовой колеи, учитывающая процесс вкатывания колеса на рельс и его падения на рельсошпальную решетку; уточнены математическая модель схода экипажа с рельсов и методика моделирования пространственных колебаний отдельных экипажей и их сцепов на участках пути сложного профиля и плана с учетом действия сил в автосцепных устройствах. При этом физическое и геометрическое взаимодействие колес и рельсов рассматривалось в соответствии с нелинейной теорией Калкера и теорией первого порядка А. Д. де Патера [17]. При составлении уравнений движения сцепа вагонов учитывалась работа межвагонного соединения, зависимость усилия в котором от перемещения и скорости этого перемещения является существенно нелинейной. Для оценки безопасности движения вагонов уточнена модель движения отдельного вагона и сцепа нескольких вагонов по пути произвольного очертания. При этом приняты во внимание особенности движения по переломам продольного профиля пути, по стрелочным переводам с возможностью контакта внешней поверхности колеса с контррельсом [16, 17].

Для повышения безопасности пассажирских перевозок со скоростями движения до 200 км/ч необходимо разрабатывать новые конструкции локомотивов и вагонов, уделив особое внимание внедрению эффективных систем диагностики динамических характеристик ходовых частей в процессе движения экипажей, модернизации тормозной системы, а также обеспечению пассивной безопасности в аварийных ситуациях.

Для исследования динамики пассажирского поезда или его отдельных вагонов при сверхнормативных воздействиях, возникающих в аварийных ситуациях, разработана расчетная схема в виде цепочки, каждое звено которой является расчетной схемой отдельного экипажа, и составлена математическая модель. Выбор расчетной схемы экипажа зависит от рассматриваемой задачи. При оценке уровня только продольных ускорений и сил, возникающих в поезде при наезде на неподвижную преграду или при столкновении с другим поездом, достаточно использовать упрощенную расчетную схему пассажирского вагона в виде твердого тела, которое совершает продольное движение. В случае, когда необходимо определить вертикальные прогибы рессорных комплектов тележек и оценить влияние неровностей рельсовой колеи на динамику поезда, следует использовать плоскую расчетную схему, согласно которой вагон представляется в виде системы трех упруго связанных твердых тел, моделирующих движение кузова и двух тележек в продольной вертикальной плоскости [9]. При исследовании процесса соударения и анализе нагруженности элементов рамы пассажирского вагона, а также элементов крепления кузова к раме разработана конечно-элементная математическая модель. Взаимодействие вагонов осуществляется путем введения

связей, моделирующих работу межвагонных соединений. Силовая характеристика межвагонного соединения зависит от вида ударно-тяговых устройств, которыми оборудованы пассажирские вагоны, и аппроксимируется кусочно-линейной функцией. В случае оборудования экипажей пассивными средствами защиты в виде энергопоглощающих деформируемых элементов силовая характеристика межвагонного соединения уточняется – добавляется участок, соответствующий смятию защитного устройства. При этом предполагается, что полное смятие защитного элемента происходит при постоянной силе.

В настоящее время практически все пассажирские поезда оснащены системами диагностики, позволяющими оценивать температурный режим в вагонах, появление задымленности, температуру элементов букс, состояние дверей и т.д. Однако достаточно часто аварийные ситуации могут быть вызваны ухудшением состояния ходовых частей вагонов и рельсовой колеи. Поэтому разработаны теоретические основы создания бортовой системы диагностики технического состояния различных элементов движущего состава для предупреждения возникновения нештатных ситуаций.

Поскольку установка отдельных датчиков на каждый элемент ходовой части каждого вагона практически невозможна, при разработке системы диагностики необходимо было выбрать рациональные места установки датчиков. Для этого с использованием математической модели движения сцепа трех пассажирских вагонов были проведены многовариантные расчеты по оценке динамических качеств рассматриваемого экипажа. При этом специальным образом моделировались различные дефекты, которые могут возникать в элементах ходовых частей в процессе движения. Среди них: отсутствие масла в одном из гидродемферов центральной ступени подвешивания, заклинивание пружин или гидродемферов в центральном подвешивании, наличие ползуна на одном из колес, износ поверхностей катания колес одной из тележек, излом скользуна, заклинивание буферного стержня и др. Кроме того, рассматривалось движение сцепа вагонов по пути с неровностями, превышающими допустимый уровень.

Анализ полученных результатов показал, что наличие в рассматриваемой системе отмеченных выше неисправностей оказывает существенное влияние на динамические характеристики экипажей. Так, например, заклинивание одного из демпферов центрального подвешивания приводит к значительному возрастанию ускорений кузова в зоне соответствующего шкворня. Наличие ползуна на одном из колес повышает уровень значений коэффициентов вертикальной динамики. Кроме того, проведенные исследования показали, что для пассажирских вагонов существует достаточно устойчивая корреляция между коэффициентом Надаля, определяющим возможность схода колесной пары вагона с рельсов, и уровнем горизонтальных ускорений кузова в шкворневой зоне [1, 15].

Описанные результаты использованы при создании бортовой системы диагностики для скоростных пассажирских поездов. Разработанная система диагностики позволяет по измеренным в процессе движения поезда значениям предварительно выбранных параметров оценить техническое состояние пути и ходовых частей вагона. Структурная схема предлагаемой системы диагностики представлена на рис. 1 [2].

Для предложенной системы диагностики разработаны алгоритмы функционирования подсистем сбора, предварительной обработки и передачи полученных данных. Разработан протокол взаимодействия между персональным компьютером и микроконтроллерами вагонов поезда, с помощью которых осуществляется управление процессом сбора и передачи данных в головной компьютер.

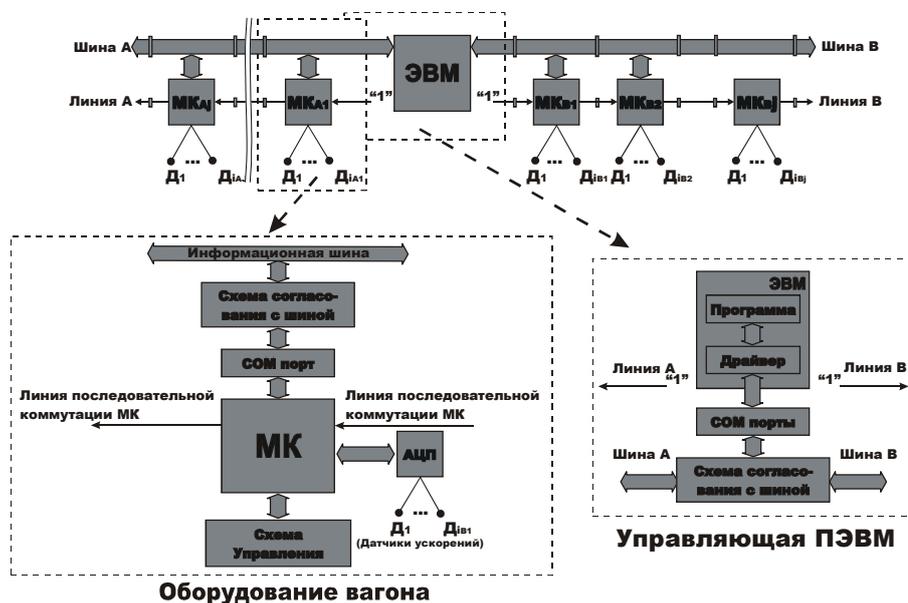


Рис. 1

Разработаны алгоритмы для диагностирования повреждений в буксовом или центральном подвешивании тележек пассажирских вагонов, а также для отслеживания общих тенденций в изменении технического состояния различных элементов тележек, основанные на спектральном анализе процессов ускорений и методах теории распознавания образов. Разработано программное обеспечение для оперативной компьютерной диагностики состояния колеи и ходовых частей вагонов и оценки безопасности движения пассажирского поезда. Создан макетный образец системы регистрации и анализа динамических характеристик пассажирских вагонов для компьютерной диагностики ходовых частей и колеи во время движения поездов. Предварительная отработка бортовой системы диагностики, проведенная с использованием результатов компьютерного моделирования движения сцепа пассажирских вагонов по пути произвольного очертания, показала ее работоспособность.

Разработанные математические модели и методическое обеспечение использованы для решения ряда конкретных прикладных задач, направленных на повышение безопасности железнодорожного движения.

Исследован процесс соударения вагона-цистерны, оборудованного различными типами поглощающих аппаратов, с вагоном-бойком со скоростью, диапазон изменения которой составлял от 10 км/час до 15 км/час. Предполагалось, что вагон-цистерна подперт сцепом вагонов массой 500 т и котел цистерны заполнен бензином со стандартным недоливом. Масса вагона-бойка принималась равной 100 т. Расчетная схема исследуемой системы была представлена разветвленной одномерной системой сосредоточенных масс,

связанных нелинейными связями. Рассматривались случаи оборудования вагонов полимерными аппаратами пластинчато-металлокерамическими (АПМ) и фрикционными (Ш-2-Т и Ш-1-ТМ) аппаратами. В поглощающем аппарате АПМ в качестве опорно-возвратного устройства использован упругий блок из термопластов [7].

Анализ полученных результатов показал, что значения максимальных сжимающих усилий и ускорений, а также скорость соударения, при которой возникают пластические деформации конструкции вагона-цистерны, существенно зависят от типа поглощающих аппаратов, которыми оборудованы автосцепки вагонов. Так, при оборудовании вагонов поглощающими аппаратами АПМ при скорости соударения 14 км/час остаточные деформации в конструкции вагона-цистерны не возникают. В случае же использования аппаратов Ш-2-Т и Ш-1-ТМ остаточные деформации соответственно равны 12 мм и 37 мм. При этом максимальные значения сжимающего усилия, действующего на цистерну, и ускорения вагона-цистерны для указанных вариантов оборудования автосцепок поглощающими аппаратами составляют порядка 3,6-4,6 МН для усилий и 4,5 – 10,2 g для ускорений. Получено, что увеличение силы закрытия аппарата и его энергопоглощения позволяют значительно уменьшить воздействующие на конструкцию вагона и транспортируемые грузы усилия, возникающие при соударениях вагонов, что важно при перевозке опасных и особо опасных грузов. Поэтому для повышения безопасности движения вагонов и цистерн в составе поезда необходимо железнодорожные экипажи оснащать высокоэффективными энергоемкими поглощающими аппаратами.

Опыт эксплуатации грузового подвижного состава железных дорог показывает, что вероятность аварийных ситуаций существенно повышается, если в составе поезда наряду с полностью загруженными вагонами находятся порожние и частично загруженные вагоны. Поэтому важно определить те факторы, которые являются критическими с точки зрения схода колесных пар экипажа с рельсов для поездов, в состав которых включены неоднородные по массе и типам вагоны. Для оценки безопасности движения поезда с вагонами различной загрузки необходимо рассматривать как минимум три соединенных между собой вагона. Проведены исследования по оценке динамических качеств сцепов грузовых вагонов, содержащих экипажи с различной степенью загрузки, при их движении по пути произвольной конфигурации. Для этого разработана соответствующая математическая модель, разработан алгоритм и составлена компьютерная программа, позволяющая имитировать широкий спектр различных случаев, охватывающих всевозможные сочетания параметров технического состояния ходовых частей, вагонов в целом и рельсовой колеи. В результате расчетов может быть получен практически любой набор необходимых для анализа значений выходных величин в виде таблиц и осциллограмм.

Расчетная оценка динамических показателей вагонов сцепа проводилась путем решения нелинейных дифференциальных уравнений, представляющих динамическую модель его колебаний. При этом рассматривались различные случаи загрузки вагонов. Для достоверной оценки динамических качеств вагона в соответствии с требованиями “Норм...” [14] определялись величины, являющиеся основными показателями его качества хода.

Показатели динамических качеств вагонов сцепа определялись при движении как по прямолинейным, так и по криволинейным участкам пути. Вначале движение сцепа вагонов проходило с небольшой скоростью, а затем скорость движения увеличивалась до того значения, когда колесная пара одного из вагонов сходила с рельсов. За момент, определяющий сход колесной пары с рельсов, принимался случай всползания гребня колеса на середину головки рельса.

Рассмотрено движение сцепа при следующих вариантах загрузки кузовов вагонов: три груженых вагона (сцеп 1), три порожних вагона (сцеп 8) и все возможные сочетания груженых и порожних вагонов в сцепе (порожний – груженный – груженный (сцеп 2), порожний – порожний – груженный (сцеп 3), груженный – порожний – груженный (сцеп 4), груженный – груженный – порожний (сцеп 5), порожний – груженный – порожний (сцеп 6), груженный – порожний – порожний (сцеп 7)).

Анализ полученных в результате проведенных расчетов данных показал, что значения динамических показателей отдельных единиц подвижного состава, движущихся в одном сцепе равномерной загрузки (либо все вагоны груженые, либо все порожние) близки и практически не зависят от месторасположения вагона в составе поезда. При этом динамика сцепа, состоящего из порожних вагонов, значительно хуже, чем динамика полностью загруженного сцепа. Для сцепов, сформированных из вагонов разной загрузки, показатели качества хода отдельного вагона определяются степенью его загруженности, а в целом динамика сцепа определяется наличием в нем порожних вагонов, независимо от их месторасположения в сцепе.

С целью обобщения полученных результатов на рис. 2 для всех возможных положений груженых и порожних вагонов в сцепе показаны скорости движения, при которых происходит сход с рельсов колесной пары одного из вагонов. Как видно из приведенной диаграммы, определяющим фактором с точки зрения безопасности движения поезда является не положение порожнего вагона или нескольких порожних вагонов в поезде, а сам факт их наличия.

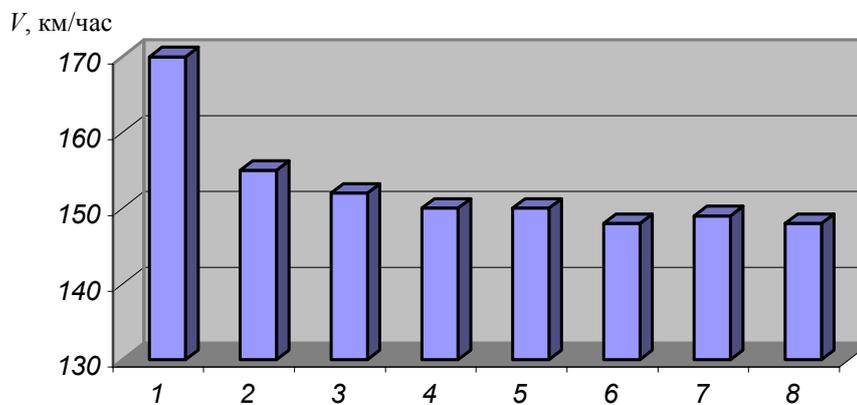


Рис. 2

Проведенные исследования динамических качеств вагонов, движущихся в сцепе, показали, что при движении поезда, состоящего из груженых вагонов на типовых тележках, допустимая скорость на прямолинейных участках может достигать 140 км/час и выше, в криволинейных участках пути она определяется параметрами кривой и допустимым непогашенным ускорением. В случае, когда в поезде имеются порожние вагоны, скорость движения по

прямолинейным участкам пути не должна превышать 100 км/час независимо от того, в каком месте поезда они находятся.

Особый интерес и важность при проведении подобных исследований представляет движение цистерн с различным уровнем заполнения их котлов жидким грузом. Проведены расчеты динамических показателей вагона-цистерны при его движении в составе сцепа разнонагруженных вагонов по прямым и криволинейным участкам пути с разными скоростями. Рассмотрены уровни недолива 0,22 м ; 0,5 м и 1 м. Оценка динамических показателей вагонов-цистерн проведена по уровням ускорений, коэффициентов динамики и сил в элементах подвешивания вагонов. Из полученных результатов следует, что уровень нагружения цистерн имеет важное значение при движении вагонов-цистерн по пути различного профиля. При этом снижение уровня загрузки жидким грузом приводит к росту горизонтальных поперечных ускорений кузова вагона и коэффициентов вертикальной динамики вагона. Для недолива, который изменяется от 0,22 м до 1,0 м, максимальное значение поперечных ускорений кузова при скорости движения 70 км/час изменяется от $2,8 \text{ м/с}^2$ до $5,4 \text{ м/с}^2$, что является недопустимым. Коэффициент устойчивости вагона от схода с рельсов при этом ухудшается и достигает опасного значения при скоростях движения 90 ; 80 и 70 км/час и уровнях недолива 0,22 м ; 0,5 м и 1 м соответственно. По результатам проведенных расчетов установлены значения скоростей движения, при которых обеспечивается безопасность движения вагона-цистерны для разных уровней недолива [13].

Выполнен анализ НДС вагона-цистерны для перевозки сжиженных углеводородных газов и легкого углеводородного сырья без защитных устройств и с различными вариантами защиты днищ при различных скоростях соударения с вагоном-бойком массой 120 т [3]. Показано, что нарушение герметичности днищ рассмотренных вагонов-цистерн без средств защиты и при оборудовании днищ накладками толщиной порядка 0,01 м может произойти при скоростях соударения с вагоном-бойком выше 12 км/час. Использование для защиты днищ цистерн торцовых щитов повышает надежность защиты и позволяет обеспечить целостность днищ котлов вышеуказанных цистерн при скоростях аварийных столкновений порядка 20 км/час. Отсутствие в рассмотренных защитных конструкциях энергопоглощающих элементов обуславливает передачу практически всей энергии аварийного удара на котел цистерны и элементы его крепления к раме. Показано, что эффективность существующих защитных устройств в виде металлических накладок на днища и торцовых щитов можно существенным образом повысить за счет усовершенствования их конструкций путем использования сотовых энергопоглощающих элементов, которые отличаются пониженной материалоемкостью и повышенной энергоемкостью.

Для защиты днищ котла рекомендовано устройство высотой не менее трети диаметра котла и толщиной 100 – 170 мм, выполненное в виде пакета из двух металлических листов, между которыми расположен сотовый энергопоглощающий наполнитель. Металлические соты, рекомендуемая толщина которых равна 80 – 150 мм, следует располагать перпендикулярно поверхности щита. Радиус сотовой ячейки должен быть меньше толщины слоя наполнителя, а отношение толщины листов, образующих сотовые элементы, к радиусу сотовой ячейки – примерно 1/60 [8].

Разработана конструкция предохранительного торцевого щита с деформируемыми сотовыми элементами и проведена ее экспериментальная обработка с помощью натуральных испытаний вагона-цистерны при соударении его с вагоном-бойком, оборудованным дополнительной автосцепкой, позволяющей осуществлять удары в днище котла. Существенным отличием предлагаемого устройства от ранее существовавших защитных конструкций является наличие жестко закрепленных на пластине щита и расположенных между ним и днищем деформируемых блоков. При этом и блоки, и пластины повторяют по конфигурации форму днища. Особенностью предлагаемой защитной конструкции является установка вертикальных и горизонтальных ребер на внешней стороне щита для перераспределения концентрированных ударных нагрузок на значительную площадь днища котла, а также изготовление блоков в виде сотовой конструкции из жестко соединенных между собой гофрированных листов низкоуглеродистой стали [10, 11].

Выполнен анализ НДС элементов конструкции вагона-цистерны модели 15-9503 АВП для перевозки сжиженных углеводородных газов, оборудованной разработанными средствами защиты днищ, при эксплуатационных и аварийных ударах с учетом возможного снижения толщины днищ котла до 0,022 м. Установлено, что выбранные параметры вагона-цистерны обеспечивают в соответствии с “Нормами...” [14] требуемую прочность конструкции, а применение предохранительных щитов, содержащих сотовые энергопоглощающие элементы, повышает ее эксплуатационную безопасность. Наличие разработанных средств защиты позволяет сохранить герметичность котла при скорости соударения 34 км/час. В результате проведенных исследований изготовлена, испытана и внедрена в производство на ОАО “Мариупольский завод тяжелого машиностроения” конструкция вагона-цистерны модели 15-9503 АВП, днища котла которой оборудованы торцевыми предохранительными щитами с сотовыми энергопоглощающими элементами (рис. 3) [12].



Рис. 3

Рассмотрен пассажирский поезд, составленный из локомотива и восьми вагонов, в случае оснащения локомотива автосцепками с поглощающими ап-

паратами ЭПУ-2, а вагонов – отдельными ударно-тяговыми приборами и защитными устройствами в виде сминаемых энергоемких элементов, установленных последовательно за буферами. На рис. 4 приведены графики распределения ускорений по длине поезда при его наезде на неподвижную преграду массой 100 т со скоростью 35 км/час.

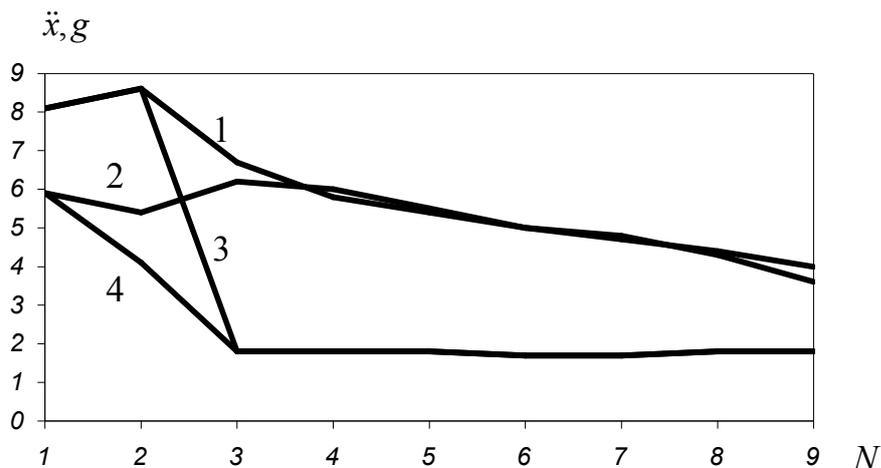


Рис. 4

Линии 1 и 2 соответствуют оборудованию локомотива автосцепками и автосцепками с последовательно установленными за ними защитными устройствами, при этом вагоны оборудованы буферами для вагонов габарита РИЦ и винтовыми стяжками; линия 3 – случаю, когда локомотив оборудован автосцепками, вагоны – буферами и деформируемыми элементами; линия 4 – случаю оборудования защитными элементами как локомотива, так и вагонов. Получено, что оборудование экипажей защитными деформируемыми элементами значительно снижает уровень максимальных ускорений вагонов поезда, возникающих в аварийной ситуации. Кроме того, безопасность движения пассажирского поезда можно повысить, если в голове поезда расположить багажный вагон, который в случае столкновения поезда с преградой работает как буфер между пассажирскими вагонами и локомотивом.

Основным требованием к средствам пассивной защиты пассажирского вагона является их высокая энергопоглощающая способность с учетом габаритных ограничений, требований эксплуатации и технического обслуживания. Конструкция жертвенного элемента должна: выдерживать нагрузку порядка 500 – 750 кН; при более высоких нагрузках терять устойчивость и пластически деформироваться до полного сплющивания ($\approx 75\%$ от исходной длины); допускать деформацию при сжатии не менее 250 мм; обеспечивать снижение уровня ускорений вагонов до допустимого значения $3 \div 5$ g при столкновении поезда с преградой массой 100 т со скоростью соударения 35 \div 40 км/час.

В качестве средств пассивной защиты для отечественных пассажирских вагонов с отдельными ударно-тяговыми приборами рассмотрены установленные на раме вагона последовательно с буферами жертвенные элементы в виде усеченной пирамиды с внутренними диафрагмами, которые предназначены для организации последовательного складкообразования защитных элементов и повышения их энергоемкости.

Проведен анализ влияния геометрических параметров рассмотренных жертвенных конструкций, количества диафрагм, их толщины и места расположения на критический уровень сжимающих нагрузок, при которых начинается потеря устойчивости элементов защитных устройств. Установлено, что для организации управляемого процесса образования складок не имеет существенного значения толщина диафрагм, а важным является место их установки. На основе выполненных теоретических исследований разработаны экспериментальные образцы жертвенных элементов, программа и методика исследовательских испытаний их на статическое сжатие до полного сплющивания. На основе полученных экспериментальных данных определены уровни критических нагрузок, при которых происходит потеря устойчивости рассмотренных конструкций, и построены диаграммы их деформирования.

В результате проведенных исследований рекомендовано использовать жертвенные элементы в виде стальной усеченной пирамиды с квадратным поперечным сечением и центральной внутренней диафрагмой, которая имеет следующие основные параметры: высота – 360 ÷ 370 мм; длина стороны нижнего основания – 380 ÷ 400 мм; длина стороны верхнего основания – 260 ÷ 300 мм; толщина боковых стенок – 3 мм.

Разработанная система оперативной диагностики безопасности движения пассажирского поезда, которая позволяет осуществлять мониторинг состояния колеи и ходовых частей на участках следования подвижного состава для предупреждения аварийных ситуаций, передана для внедрения в производство на Харьковском НПП “Хартрон-экспресс”.

1. Богомаз Г. Влияние состояния ходовых частей экипажа на его динамические характеристики / Г. Богомаз, О. Маркова, Е. Ковтун и др. // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты : Сб. науч. статей. – Санкт-Петербург, 2005. – С. 154 – 160.
2. Богомаз Г. И. Диагностика состояния ходовых частей рельсовых экипажей в процессе движения / Г. И. Богомаз, Е. Н. Ковтун, О. М. Маркова и др. // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2004. – Вып. 5. – С. 17 – 20.
3. Богомаз Г. И. Динамическая нагруженность элементов конструкций вагонов-цистерн при аварийных ударах в днище / Г. И. Богомаз, В. А. Волков, М. Б. Соболевская // Транспорт : Сборник научных работ. Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта. – 2000. Вып. 6. – С. 48 – 51.
4. Богомаз Г. И. Конечно-элементный подход к исследованию динамики конструкций, содержащих емкости с жидкостью / Г. И. Богомаз, Н. Е. Науменко, И. Ю. Хижа . // Питання прикладної математики і математичного моделювання : Збірник наукових праць. – Дніпропетровськ : РВВ ДНУ, 2002. – С. 14 – 21.
5. Богомаз Г. И. Особенности математического моделирования напряженно-деформированного состояния элементов железнодорожных цистерн при сверхнормативных ударных воздействиях в днище / Г. И. Богомаз, В. А. Волков, М. Б. Соболевская и др. // Математическое моделирование в инженерных и финансово-экономических задачах транспорта. Серия : Транспорт : Сборник научных работ. – 2000. Вып. 5. – С. 25 – 30.
6. Богомаз Г. И. Оценка динамической нагруженности элементов конструкции вагона-цистерны, оборудованного торцевыми щитами, при аварийных соударениях / Г. И. Богомаз, Н. Е. Науменко, И. Ю. Хижа и др. // Збірник наукових праць Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту : Транспорт. – 2006. Вып. 7. – С. 32 – 34.
7. Богомаз Г. И. Оценка параметров аппарата АПМ-110-К-23 грузового вагона при ударных нагружениях / Г. И. Богомаз, В. М. Бубнов, Н. Е. Науменко и др. // Техническая механика. – 2006. – № 2. – С. 64 – 68.
8. Богомаз Г. И. Оценка параметров средств защиты днищ котлов железнодорожных цистерн при аварийных воздействиях / Г. И. Богомаз, В. М. Бубнов, В. А. Волков и др. // Техническая механика. – 2000. № 1. – С. 135 – 143.
9. Богомаз Г. И. Повышение безопасности пассажирского поезда при аварийных ситуациях / Г. И. Богомаз, А. Д. Лашко, О. А. Шкабров и др. // Залізничний транспорт України. – 2007. – № 4. – С. 44 – 48.
10. Волков В. А. Декларационный патент на корисну модель № 3720 Україна, МПК7 В 61 D 5/00. Залізнична цистерна / В. А. Волков, В. М. Бубнов, Г. І. Богомаз та інші. – ТОВ “Головне спеціалізоване конс-

- структорське бюро вагонобудування”, ВАТ “Маріупольський завод важкого машинобудування”, ВАТ “Азовзагальмаш” – № 2004021252 ; Заявл. 20.02.2004 ; Опубл. 15.12.2004 ; Бюл. № 12, 2004. – 4 с.
11. *Волков В. А.* Патент на полезную модель № 43516 Россия, МПК7 В 61 D 5/00. Железнодорожная цистерна / *В. А. Волков, В. М. Бубнов, Г. И. Богомаз и др.* – “Головное специализированное конструкторское бюро вагоностроения” (UA), ОАО “Маріупольський завод важкого машинобудування” (UA), ОАО “Азовобщешмаш” (UA) – № 2004105974 ; Заявл. 26.02.2004 ; Опубл. 27.01.2005 ; Бюл. № 3, 2005. – 4 с.
 12. *Волков В. А.* Разработка газовых цистерн нового поколения, оборудованных защитными устройствами повышенной энергоемкости // *В. А. Волков, В. М. Бубнов, Г. И. Богомаз и др.* // Вісник Дніпропетровського Національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна 2004– Вип. 5. – С. 56 – 60.
 13. *Ковтун Е. Н.* Оценка динамических характеристик вагонов-цистерн с разным уровнем недолива / *Е. Н. Ковтун, В. В. Малый, О. М. Маркова* // Проблемы механики железнодорожного транспорта : Тезисы докладов XII международной конференции. – Днепропетровск, 2008. – С. 71.
 14. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М. : ГосНИИвагоностроения – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
 15. *Bogomaz G.* Construction of correlation connection of car body accelerations and derailment stability factors for creation of on-line diagnostic system for passenger train safety / *G. Bogomaz, E. Kovtun, O. Markova* // Proceedings of the 8th mini conference on vehicle system dynamics, identification and anomalies. Budapest. – 2005. – P. 283 – 290.
 16. *Bogomaz G.* Freight vehicle dynamics in train / *G. Bogomaz, E. Kovtun O. Markova* // Zeszyty naukowe instytutu pojazdow. – 2006. – № 1(60). – P. 169 – 174.
 17. *Markova O.* A comparison of various theories on the interaction between wheel and rail / *O. Markova, E. Kovtun* // Supplement to Vehicle System Dynamics. – 2000. – V. 33. – P. 629 – 640.

Институт технической механики
НАН Украины и НКА Украины
Днепропетровск

Получено 15.09.08,
в окончательном варианте 19.09.08